ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre
du progrès des sciences au service
du genre humain

VOLUME XI Avril 1952 NUMÉRO 42

SOMMAIRE

Article de Tête: L'œuvre scientifique de Léonard de Vinci 59

A la mémoire de Allan Ferguson (1880–1951) 60

539.16/.18
Production des substances radioactives dans les piles et leurs utilisations — W. J. ARROL — 61

576.8.097.3:576.858.9
Les bactéries lysogènes—I — ANDRÉ LWOFF — 72

575.113.3.061.6:636.2
Jumeaux vrais et hérédité des couleurs chez le bétail — JOHN HANCOCK — 78

615.849:615.31:623.459:591.1.044
Effets des radiations et des drogues radiomimétiques — E. BOYLAND — 87

678.01:539.5
Le caoutchouc naturel — L. R. G. TRELOAR — 92

581.143.01(091)
Etude de la croissance et de la forme des végétaux — C. W. WARDLAW — 97

049.3
Revue des livres 106

Livres reçus 111

Notes biographiques sur les collaborateurs 112

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.
Pour les éditions étrangères: J. A. WILCKEN, B.Sc., Ph.D.

Imperial Chemical Industries Limited, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, 26 Dover Street, Londres, W.1

L'œuvre scientifique de Léonard de Vinci

Il convient d'adresser ici, à l'occasion du 500e anniversaire de la naissance de Léonard de Vinci, un hommage à celui qui, comme Aristote, mérite d'être appelé «le maître des maîtres». Un lecteur d'ENDEAVOUR, l'érudit professeur Siro Taviani, né lui-même à Vinci et grand admirateur de Léonard, nous a adressé une notice complète, bien que concise, sur les étapes les plus remarquables de la carrière de son illustre compatriote. Nous sommes heureux de pouvoir en publier la partie qui entre dans le cadre du présent éditorial.

Le génie artistique, un «flair» scientifique exceptionnel et une puissante imagination qui non seulement lui révèle les problèmes qui échappent aux autres, mais encore lui permet de les résoudre aussitôt posés: voilà ce qui donne à Léonard sa place unique dans l'histoire des grands réalisateurs. Tout ce qui touche à l'esprit l'attire, et il porte de la lumière dans tout sujet d'étude. Il est peu probable que son acuité d'observation ait jamais été égalée.

Il adopte en science le point de vue rationaliste: pour lui tout savoir procède des sensations, «sublimées» par l'intellect; autrement dit, l'étude raisonnée suit l'observation et l'expérience. Il reconnaît la valeur de l'exactitude mathématique et accepte le principe de causalité tel qu'il a été adopté par les savants qui l'ont suivi. Son tour d'esprit scientifique se révèle également dans son refus de conclure d'après des données insuffisantes. On a cru, sur la foi d'une brève note de la main de Léonard, conservée à la bibliothèque royale de Windsor, «le soleil est immobile», qu'il avait anticipé la théorie copernicienne, mais un indice aussi ténu n'est guère probant, encore qu'il ait sans doute soupçonné certaines découvertes astronomiques des siècles avant leur réalisation. Il réussit à calculer les dimensions de la Terre et formula d'ingénieuses conjectures, dont certaines se sont vérifiées, sur la lumière et la chaleur du Soleil, la luminosité des planètes et de la Lune et les rapports Terre-Lune. Il donna notamment la première explication correcte de la lumière cendrée de la Lune.

C'est surtout à la mécanique pure et appliquée, ses sujets de prédilection, qu'il fit faire des progrès notables. Ses travaux sur les leviers et les conditions d'équilibre sur un plan incliné devancèrent de loin son époque. Il fit la preuve de deux cas particuliers du théorème de Varignon sur les moments des forces concourantes. L'intérêt qu'il porta aux systèmes de poulies fixes et mobiles l'aida à comprendre le principe du «travail virtuel». Son énoncé de la loi de l'inertie est presque correcte et il conçoit clairement l'égalité de l'action et de la réaction. D'autre part il constate que la vitesse d'un corps tombant en chute libre augmente en rapport simple avec le temps, et reconnaît la futilité de la recherche du mouvement perpétuel.

Léonard effectua des découvertes fondamentales en hydrostatique: c'est ainsi que 150 ans avant Pascal il découvrit que la pression des liquides est la même dans tous les sens. Il esquissa les lois qui régissent la pression des liquides dans des vases communicants. Il eut également quelque notion des conditions d'équilibre des liquides de différentes densités, de la pression exercée par les liquides sur les parois d'un récipient, de la faible compressibilité de l'eau, de la capillarité et des propriétés des siphons.

L'activité intellectuelle de Léonard fut sollicitée par d'autres parties de la physique, notamment l'optique: il étudia la structure de l'œil, décrivit le rôle du cristallin et de l'iris, découvrit l'importance de l'axe visuel et comprit le principe de la vision stéréoscopique. Il assimila le mécanisme de la formation d'images sur la rétine à celui de la chambre noire qu'il fut le premier à décrire avec précision, bien que l'appareil fût connu depuis plusieurs siècles. Léonard étudia les lois de la réflexion de la lumière sur des surfaces planes ou sphériques et projeta la construction de miroirs concaves paraboliques. Il étudia les lentilles et leur utilisation pour corriger la myopie et l'hypermétropie et remarqua qu'une sphère pleine d'eau projette des images renversées qui peuvent être redressées par une deuxième sphère. Détail intéressant: une de ses notes parle de lunettes qui «font voir la Lune très grosse».

Ce sont toutefois les recherches de Léonard sur le vol qui ont, pour ainsi dire, un intérêt d'actualité. Le sujet le captivait et, tout en se rendant compte des difficultés à surmonter, il croyait fermement en la possibilité de construire des machines volantes. Il décrit dans ses notes manuscrites sur le vol des oiseaux plusieurs anémomètres de son invention; l'arrangement, l'élasticité et la résistance des rémiges, et le mouvement des ailes au cours des diverses phases du vol. Il se penche sur le problème de la sustentation, sur le rôle du centre de gravité

dans le vol naturel ou mécanique, et sur le régime du vol plané vent debout ou arrière. On a trouvé dans ses cartons un plan détaillé d'un planeur et aussi le plan d'un hélicoptère. Il connaissait la propulsion aérienne au moyen de l'hélice et son *Codex Atlanticus* contient la première esquisse connue d'un parachute.

Léonard ne s'est pas arrêté à la physique pure: il s'intéressa également à l'application de ses théories dans les domaines du génie civil et militaire, où ses réalisations pratiques et ses projets furent innombrables: urbanisme et suppression des taudis, grues tournantes et escaliers roulants, métiers mécaniques, pompes, dragues flottantes, étireuses, transmissions, ponts de bateaux, et appareils de levage pour gros canons.

Après tout cela il est incroyable qu'il soit resté à Léonard le loisir d'explorer d'autres domaines de la science. C'est pourtant vrai qu'il fit des études avancées en sciences biologiques, surtout en anatomie. La perfection de ses dessins anatomiques révèle le soin qu'il a dû apporter à l'étude du squelette humain, des articulations, des muscles, du cerveau, des nerfs et de la moëlle épinière, du cœur et de la circulation, et du système urogénital. Les faisceaux musculaires qui garnissent le ventricule droit du cœur portent encore son nom. L'artiste en lui s'intéressa naturellement à l'expression faciale et il en décrivit l'appareil musculaire. Il étudie la production de la voix et comprend pourquoi la forme du gosier varie dans l'émission des différentes voyelles, de même que la position des lèvres et de la langue dans la prononciation des consonnes. Pour ce qui est de la technique, il semble avoir été le premier à injecter pour la dissection un liquide apte à se solidifier, tel que la cire, dans les organes creux, et à conserver des yeux dans du blanc d'œuf.

Cet aperçu, forcément incomplet, des travaux scientifiques de Léonard suffirait à donner une idée de son activité et de son intelligence prodigieuses, et quand on pense au prestigieux artiste qu'il fut, il est permis de s'émerveiller de l'universalité de son génie.

Chacune des grandes bibliothèques du monde possède quelque partie des écrits volumineux et des nombreux dessins de Léonard et c'est une heureuse initiative qu'a prise le gouvernement italien d'en réunir des reproductions en un *Corpus Vincianum* complet.

A la mémoire d'Allan Ferguson (1880–1951)

Nous avons le profond regret d'annoncer la mort du Docteur Allan Ferguson, survenue peu après la mise sous presse de notre numéro de janvier 1952. Le Docteur Ferguson était un des membres originaires du Comité de Rédaction d'ENDEAVOUR auquel il prodigua généreusement ses conseils. D'une culture quasi-universelle, comme l'atteste sa bibliothèque de quelque 12 000 volumes, il veillait à la tenue littéraire des articles et décelait promptement toute trace de négligence ou d'obscurité. Sa disparition se fait vivement sentir parmi tous ses collègues de la rédaction d'ENDEAVOUR, où il était très aimé.

Ferguson fut le rédacteur en chef du *Philosophical Magazine* et, de 1936 à 1946, le secrétaire général de la *British Association for the Advancement of Science*. Secrétaire (1928–38) puis président (1938–41) de la Physical Society, il fut également le conseiller technique de diverses publications scientifiques auxquelles la finesse de ses critiques apporta une aide précieuse.

Production des substances radioactives dans les piles et leurs utilisations

W. J. ARROL

Aperçu (inspiré surtout des méthodes pratiquées à Harwell) de la production de substances radioactives pures par des procédés de fission nucléaire, notamment le bombardement par neutrons; transport et manipulation de ces substances. Description de compteurs et autres instruments mesurant la radioactivité, basés sur l'ionisation des gaz, le scintillement, et les effets photographiques. Préparation d'indicateurs («traceurs») radioactifs: P^{32}, I^{131}, C^{14}, et leurs applications: étude du métabolisme, de la photosynthèse et d'autres phénomènes biochimiques; essais non-destructeurs; mesure de l'épaisseur de matériaux en feuilles et de revêtements; dispersion de l'électricité statique, et localisation de fuites dans les canalisations téléphoniques.

On admettra, pour la commodité de l'article, que la pile qui se compose d'un réseau d'uranium et de graphite, n'est qu'une vaste source de neutrons entourée d'un écran de ciment, dans laquelle on introduit les matériaux à irradier et d'où on les retire radioactifs. La figure 5 montre la face nord de la pile de Harwell. Les isotopes sont retirés par un conduit garni de plomb, et les récipients en aluminium où s'effectue l'irradiation passent par un tube flexible dans un lourd coffre en plomb prêt à être emporté.

Le noyau d'un atome-cible porte une charge positive égale à son numéro atomique, et il est entouré d'un nombre égal d'électrons chargés négativement.

Si l'on veut modifier le noyau en le bombardant de particules chargées telles que protons, deutons et particules α, il leur faut, pour traverser le nuage d'électrons et dominer la répulsion électrostatique due au noyau, une énergie très élevée. Les neutrons, par contre, ne sont pas chargés, et peuvent pénétrer facilement un noyau-cible malgré leur faible vitesse. Ils sont donc tout indiqués pour provoquer des réactions nucléaires.

La réaction nucléaire la plus classique provoquée par neutrons est l'absorption d'un neutron dans le noyau-cible, avec émission d'un rayon γ. C'est la réaction (n,γ). La transformation du sodium 23 en sodium 24 s'écrit $Na^{23}(n,\gamma)Na^{24}$. La charge du noyau n'est pas modifiée, et le noyau obtenu est le même chimiquement que le noyau-cible. Exemple: la préparation du chlorure de sodium radioactif, dans laquelle le sodium se transforme partiellement en sodium 24, dont la période est 15 heures. On irradie pendant plusieurs jours le chlorure de sodium ordinaire dans la pile au moyen d'un flux intense de neutrons. Il en ressort avec une couleur marron qui disparaît en chauffant ou en dissolvant dans l'eau. En plus de la radioactivité du Na^{24}, on provoque une activité éphémère du chlore comme suite de la réaction $Cl^{37}(n,\gamma)Cl^{38}$, et on observe d'autres radioactivités négligeables. Lorsque le Cl^{38} s'est décomposé, on a un échantillon de sel chimiquement identique au sel primitif mais dont le sodium est marqué par Na^{24}. Il est soluble dans l'eau et donne une solution isotonique au sang, que l'on peut stériliser et utiliser à des fins médicales telles que la détermination de la teneur totale en sodium du corps [1].

Lors de l'émission du rayon γ, dans le processus (n,γ), le nouvel atome subit un recul dans la direction opposée avec assez de force pour briser les liens qui le retenaient en combinaison chimique dans le composé-cible. La dernière forme chimique peut être toute autre. Dans le cas d'un réseau ionique tel que le chlorure de sodium, le Na^{24} se déplace dans le réseau, mais reste un ion, et lorsque le sel irradié se dissout dans l'eau il est indiscernable des ions Na^{23} ordinaires. La préparation d'un composé marqué de la façon voulue, par simple irradiation dans la pile, du composé identique, est plutôt l'exception. Le meilleur procédé consiste à prendre comme cible à irradier des éléments, ou des composés les plus simples possible, et de convertir ensuite la substance active obtenue dans la forme chimique voulue.

On peut provoquer au moyen de neutrons diverses réactions nucléaires au cours desquelles le neutron est absorbé par le noyau de la cible, avec émission d'une particule chargée. Lorsqu'il y a émission respectivement d'un proton, et d'une particule α, ce sont les réactions (n,p) et (n,α).

Dans ces cas-là, il y a modification de la charge du noyau; le noyau produit est chimiquement différent de la cible, et l'on devrait pouvoir, en principe, isoler le composé radioactif, purifié de tout isotope inactif. En fait, il n'est généralement pas possible de préparer un composé sans support inactif, et l'expression «sans support inactif» ne doit s'employer qu'avec précaution. Cependant elle implique véritablement que le composé a une activité spécifique (par gramme) très élevée.

Il existe d'autres réactions nucléaires servant à préparer des substances pures.

Telles sont (*a*) les réactions (n,β), dont le produit final est radioactif et par émission de rayons β se transforme en l'atome voulu, et (*b*) la réaction de fission. La fission de l'uranium 235 produit plusieurs espèces radioactives, toutes chimiquement différentes de l'uranium. On peut les obtenir avec un degré très élevé de radioactivité spécifique. Le procédé Szilard-Chalmers est une troisième façon de préparer des substances à radioactivité spécifique élevée, sans toutefois qu'elles soient débarrassées de tout support inactif; il utilise le recul de l'atome nouvellement formé dû à l'émission du rayon γ de la réaction (n,γ) [2]. Si par exemple, on irradie du fer sous la forme ferrocyanure de potassium, les atomes de fer subissant le recul sont arrachés de l'ion ferrocyanure, et apparaissent en nombre important sous la forme d'ions ferriques, que l'on peut isoler du reste du ferrocyanure-cible et obtenir avec une activité spécifique presque mille fois supérieure à celle que donnerait l'irradiation de fer élémentaire [3].

PROTECTION DES TRAVAILLEURS

Les substances radioactives se dégradent de différentes manières, mais la plus habituelle pour les substances irradiées dans la pile est l'émission de particules β ou électrons d'énergie élevée. Les particules β sont très souvent accompagnées de rayons γ, qui sont de même nature que les rayons X mais d'énergie généralement plus forte. Les particules α, qui sont des noyaux d'hélium à charge positive, sont en général émises seulement par les éléments les plus lourds.

L'unité de radioactivité est le curie: c'est la quantité de substance radioactive subissant $3{,}7 \cdot 10^{10}$ désintégrations par seconde. Ceci représente approximativement la vitesse de désintégration d'un gramme de radium et correspond à une quantité de substance radioactive qu'il faut manier avec précaution.

L'écran protecteur est presque toujours nécessaire contre les radiations des substances radioactives, en raison de leur effet sur la matière vivante en général et le corps humain en particulier. On connaît très bien les effets délétères des radiations ionisantes, grâce à l'expérience acquise aux premiers temps de la médecine des rayons X et du radium. On a pu déterminer les intensités de radiation maximum que peuvent supporter les opérateurs au cours de toute leur existence, sans courir de risque sérieux. On les appelle doses tolérées. La protection par écran et toutes autres précautions nécessaires pour amener les niveaux de rayonnement au-dessous des doses tolérées, dépendent de la nature de la source, et des radiations qu'elle émet [4].

Les particules α sont vite absorbées dans la matière. Elles ont des trajets rectilignes et sont arrêtées par quelques centimètres d'air à pression normale. On se protège habituellement en travaillant à l'intérieur d'une boîte en Perspex (figure 3), les mains protégées par des gants de caoutchouc. Le plus gros risque avec les matériaux chargés de ces particules est de les absorber en respirant la poussière active, et il faut prendre contre cette poussière des précautions très sévères. Les substances chargées de particules α ont peu d'applications médicales ou industrielles.

Pour les particules β, leur parcours dans l'air varie énormément suivant leur énergie. Celles de faible énergie sont absorbées par quelques millimètres seulement d'air à pression normale, tandis que les plus énergiques peuvent parcourir plusieurs mètres. Contrairement aux particules α, elles sont diffusées facilement et une particule β isolée peut se déplacer dans plusieurs directions différentes avant d'être arrêtée définitivement. Même énergiques, les rayons β sont arrêtés par une épaisseur de Perspex ou de verre d'un centimètre environ, et l'on peut en manipuler mécaniquement des sources très actives derrière des écrans constitués par ces matériaux.

Les rayons γ sont absorbés exponentiellement dans la matière et il faut, pour ramener à un niveau supportable le rayonnement de sources de l'ordre du curie, les isoler derrière des écrans de plomb ayant jusqu'à 10 centimètres d'épaisseur, celle-ci dépendant de l'énergie du rayonnement. La manipulation des sources γ derrière ces épaisses parois n'est pas aisée.

MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ

De nombreuses applications des matériaux radioactifs tiennent à l'extrême précision des mesures que l'on en peut faire. Ainsi, le poids de l'ensemble des atomes d'un curie de phosphore 32, sans

support inactif est de $4 \cdot 10^{-6}$ g, et il est très facile de mesurer une quantité de $3 \cdot 10^{-10}$ curies; la masse réelle de phosphore 32 mesurée est donc de l'ordre de 10^{-15} g. Il faut avoir également les moyens de mesurer des activités élevées de l'ordre du curie, particulièrement dans le cas des sources γ préparées dans la pile.

La plupart des procédés de mesure sont basés sur trois catégories d'effets radioactifs, à savoir:

1. L'ionisation des gaz;
2. Les effets de scintillement;
3. Les effets photographiques.

1. L'action d'un rayon α, β ou γ en heurtant une molécule lors du passage à travers un gaz est d'arracher un électron. L'électron, chargé négativement et le reste de la molécule, désormais chargé positivement, constituent un couple ionique. Si, pendant le processus d'ionisation, le gaz se trouve dans un champ électrique, les électrons se dirigent vers le pôle positif et les ions positifs vers le pôle négatif, si bien que le gaz est traversé par un courant électrique. Celui-ci est proportionnel au nombre de radiations ionisantes par seconde traversant un volume donné du gaz.

On utilise directement la mesure du courant d'ionisation dans la chambre d'ionisation (figure 4) d'emploi généralisé dans la mesure des rayons γ, et il est possible de construire des chambres couvrant une gamme étendue de sensibilités. On peut, jusqu'à une certaine limite, les utiliser aussi dans la détection des rayons β [5].

Les premières mesures de sources radioactives furent très souvent faites à l'électroscope à feuille d'or. Si, dans un tel électroscope chargé, on rend l'air conducteur à l'aide des radiations ionisantes d'une source radioactive, on peut faire en sorte que la vitesse de décharge entre deux positions déterminées de la feuille d'or soit proportionnelle à l'énergie de la source. L'électroscope primitif était assez exact mais très peu sensible. Dans sa forme moderne, celui de Lauritsen par exemple, la feuille d'or est remplacée par un fil de quartz plaqué d'or, et cet appareil peut, dans de bonnes conditions, être à la fois très sensible et très précis [6].

L'instrument le plus répandu et le plus universel pour la mesure d'activités faibles est le compteur de Geiger-Müller (G-M). Dans ce cas, on utilise l'ionisation d'un gaz par une particule β isolée, ou par l'électron secondaire dû à un rayon γ, pour déclencher dans le compteur une décharge qui doit être assez puissante pour ébranler l'équipement électronique qui l'enregistre et la compte automatiquement. Ce compteur comprend essentiellement une cathode cylindrique sur l'axe de laquelle est tendu un fil de tungstène isolé chargé positivement à 1000 volts environ par rapport à la cathode. Le compteur est rempli d'un gaz approprié, l'un des gaz de remplissage les plus courants est l'argon à 10 cm environ de pression de mercure, mélangé de 10% environ de vapeur d'alcool. Dans de bonnes conditions de remplissage et de tension, il suffit de l'apparition d'une paire d'ions pour amorçer une décharge.

L'intensité de la décharge du G-M est indépendante du nombre de paires d'ions sur la trajectoire de la radiation qui la provoque. L'énergie de la pulsation provient de la haute tension fournie à l'anode. Lorsque la décharge a atteint son maximum, il faut l'arrêter le plus tôt possible et ramener le compteur aux conditions primitives, afin qu'il soit prêt à percevoir la prochaine radiation β ou γ qui se présente. Cela s'obtient soit extérieurement au moyen d'un circuit coupeur électronique, soit intérieurement, avec un gaz autocoupeur. Dans l'exemple de remplissage ci-dessus, ce rôle est joué par l'alcool. La tendance moderne est d'utiliser lorsque c'est possible le gaz autocoupeur, mais de lui adjoindre un circuit coupeur, afin de bien définir la durée du temps mort et de supprimer certaines décharges parasites.

Le compteur est contenu dans un étui, pourvu habituellement d'une fenêtre en aluminium permettant le passage aux particules β. On voit sur la figure 1(*a*) un type courant de compteur-cloche. Les compteurs à rayons γ (figure 1(*c*)) n'ont pas besoin de fenêtre. Les rayons β de haute énergie provenant de solutions radioactives peuvent être enregistrés dans le compteur à liquide conçu par Veall (figure 1(*b*)) [7].

Le compteur G-M enregistre pratiquement toutes les particules β qui arrivent dans le champ entre cathode et anode. L'efficacité plus ou moins complète dépend des positions géométriques relatives de la source à rayons β et du compteur, et de tout élément absorbant interposé entre la source et la partie active du volume du compteur. On compte les rayons γ d'après le nombre d'électrons secondaires qu'ils enlèvent à la substance accolée à la face interne du compteur. On ne peut compter que le centième environ des rayons γ qui traversent le compteur, ce procédé de mesure est donc assez peu efficace en ce qui concerne les rayons γ.

Dans les cas courants, on n'a besoin que de mesures relatives sur des sources radioactives, mais on a parfois besoin de radioactivités absolues. Certains dispositifs spéciaux du compteur G-M [8, 9], ont alors été très utiles.

2. Au moyen du spinthariscope, on enregistra les scintillements d'une substance fluorescente dus à l'impact des rayons α. L'observateur pouvait, non seulement voir, mais compter à l'œil les petites étincelles dans une chambre obscure. Cette méthode tomba en désuétude entre 1920 et 1930 avec le développement des méthodes basées sur l'ionisation des gaz; elle a été reprise ces dernières années et considérée comme très efficace pour tous les types de radiation et en particulier les rayons γ [10]. On peut utiliser comme éléments fluorescents, le naphtalène, l'anthracène, et les iodures de sodium et de potassium activés au thallium, sous forme de cristaux élémentaires de plusieurs centimètres d'épaisseur. Dans cette épaisseur une grande partie de la radiation γ incidente, est absorbée, et chaque rayon produit une minuscule étincelle qui peut impressionner la photocathode d'un tube multiplicateur électronique [5]. La pulsation provenant de ce multiplicateur est assez forte pour mettre en branle un appareil compteur électronique. Un autre avantage de ce compteur à scintillement est que sa réaction au rayon γ, complète et immédiate ne dure pas même un millionième de seconde, infiniment moins que le centième du temps nécessaire au compteur G-M.

3. Les méthodes photographiques pour la détection des radiations ont pris récemment beaucoup d'extension. De nos jours la méthode photographique sert surtout à la détection des points de radioactivité très localisée dans une substance.

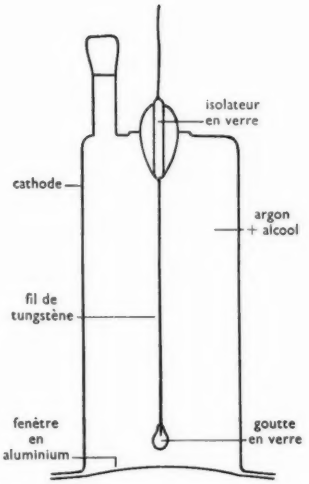
Dans la technique autoradiographique, on met un échantillon plan de la substance en contact avec une émulsion photographique. La substance de radioactivité β impressionne localement l'émulsion et on peut lui comparer la plaque développée pour voir l'emplacement de la radioactivité dans l'échantillon. Parmi les nombreuses variantes de la technique, celle qui donne lieu à la résolution la plus parfaite est due à Pelc [11], qui utilise une émulsion dans l'eau déposée directement sur l'échantillon et séchée *in situ* pour l'exposition. On peut la développer et la fixer sur place en contact avec l'échantillon, et on obtient une image instantanée de la répartition de la radioactivité. Les autoradiographies préparées par cette méthode atteignent une grande précision. Stevens [12] a démontré que des raies d'iodure d'argent radioactif distantes seulement de 2 à 2,5 microns étaient parfaitement séparées sur l'autoradiographie. La durée d'exposition nécessaire à la production d'une autoradiographie correspond à l'enregistrement d'un nombre de particules β de $(2 \text{ à } 5)\cdot 10^6$ par cm^2 d'émulsion. Ces méthodes photographiques conviennent à la mesure de faibles irradiations pendant des intervalles de temps prolongés. C'est pour cette raison que les travailleurs qui s'occupent de radioactivité ont sur eux des pellicules de rayons X, développées chaque semaine, qui enregistrent les radiations β et γ auxquelles ils ont été exposés.

ORGANISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN MATÉRIAUX RADIOACTIFS

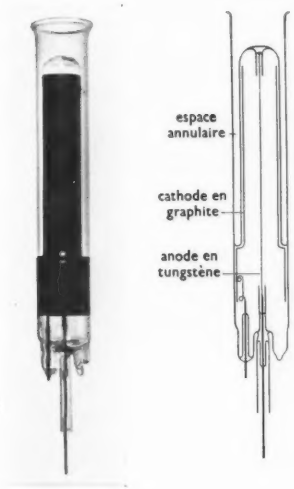
Environ la moitié des expéditions de Harwell consiste en matériaux qui n'ont pas besoin de subir de traitement chimique avant leur départ. On les enferme dans des boîtes munies de l'enveloppe protectrice appropriée; on vérifie que l'intensité de radiations qui traversent la boîte n'atteint pas la dose dangereuse et on les expédie. Ils peuvent être transportés par route ou par voie ferrée ou aérienne. De toutes façons, on fait en sorte que les matériaux arrivent à destination sans délai. Il est évident que les radioisotopes de courte période ne doivent subir aucun retard. L'élément le plus éphémère expédié régulièrement de Harwell est le silicium 31 de période 170 minutes. Il quitte Harwell par la route pour une Université éloignée de 30 km.

L'un des moyens utilisés pour le transport des matériaux radioactifs vers l'Afrique du Sud est d'un intérêt spécial. A l'extrémité des ailes des appareils des South African Airways se trouve un compartiment où l'on peut, sur le champ d'aviation transférer la source enfermée dans un léger coffre de cuivre. Les compartiments des voyageurs et du frêt sont assez éloignés des extrémités des ailes pour que le niveau des radiations soit bien inférieur à la dose tolérée pour une source de plusieurs centaines de millicuries portée au bout des ailes. Même un ouvrier travaillant au moteur le plus près du coffre, ne courrait aucun danger. Ce système a été mis au point par le Département Sud-Africain des Recherches Scientifiques et Industrielles [13].

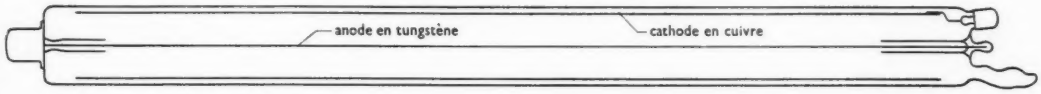
Les formules des commandes reçues sont principalement de deux sortes: les commandes de matériaux ayant reçu un traitement chimique, et celles qui demandent l'irradiation d'une quantité donnée dans certaines conditions et pendant un certain temps. Celles-ci concernent ce que l'on appelle l'unité d'irradiation d'une substance. Les commandes de la semaine, pour unités d'irradiation, groupées avec tout autre supplément, sont dénombrées et inscrites sur la liste d'emballage hebdomadaire que l'on transmet au groupe technique de la section des isotopes. Les employés de ce groupe pèsent la substance pure demandée et

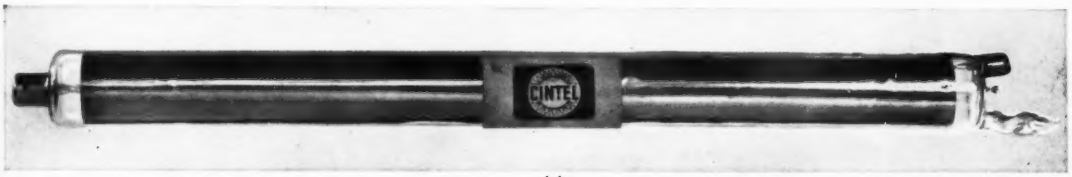


(a)



(b)





(c)

FIGURE 1 – *Instruments pour la mesure des radiations.* (a) *Compteur à fenêtre;* (b) *Compteur à liquide;* (c) *Compteur à rayons* γ.

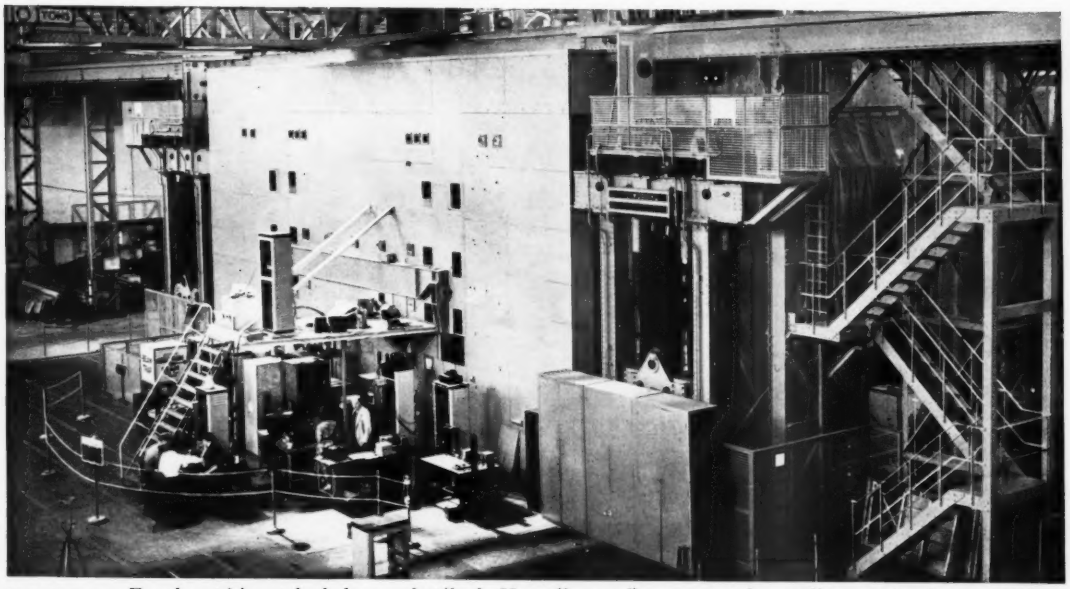


FIGURE 2 – *Façade expérimentale de la grande pile de Harwell, avec l'ascenseur et les escaliers vers les étages supérieurs. Au-dessous, à gauche, se trouve un laboratoire, avec accès à la pile au-dessous du niveau du sol.*

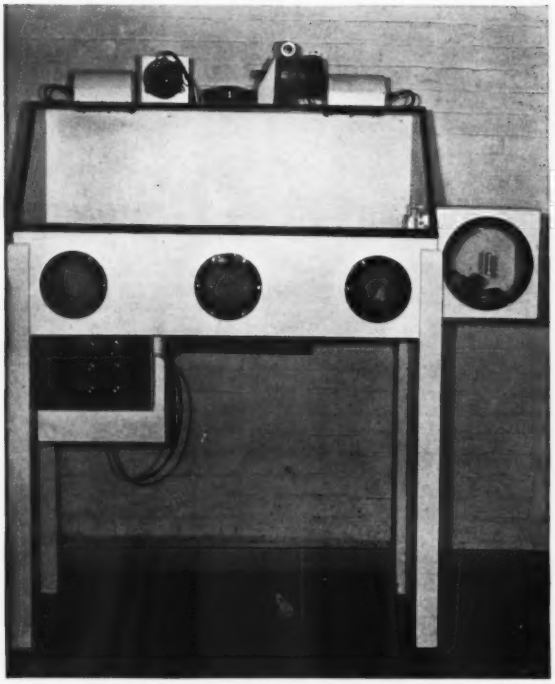


FIGURE 3 – *Boîte Perspex pour manipuler des substances radioactives à rayonnement α.*

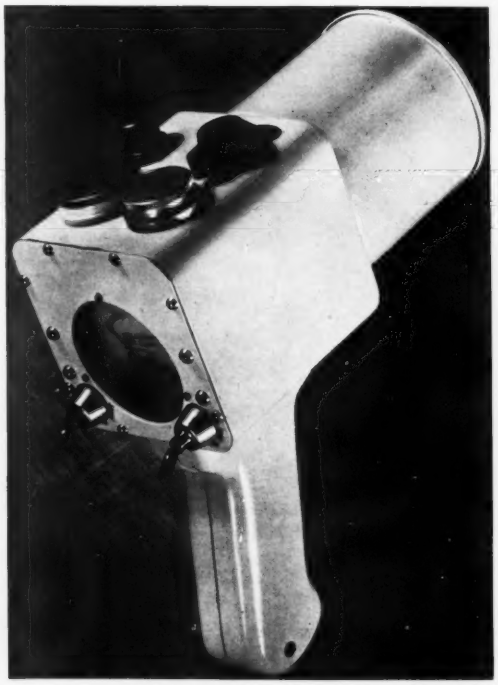


FIGURE 4 – *Pistolet-compteur, pour mesurer l'intensité locale de radiation.*

FIGURE 5 – *Façade de contrôle de la pile, avec le pont qui sert à extraire les isotopes à travers un canal protégé par du plomb. Les récipients en aluminium où l'on effectue l'irradiation sont transférés par un tube flexible dans un lourd coffre de plomb, prêt à être emporté.*

FIGURE 6 – *Appareil pour préparer l'iode* 131. *On a enlevé une partie du lourd écran de plomb pour faciliter l'examen. On chauffe par rayonnement infra-rouge.*

(*Tous droits de reproduction réservés.*)

la mettent dans des boîtes d'aluminium numérotées. Chaque pesée et surtout l'identité de chaque produit, sont vérifiées indépendamment par deux employés. En même temps, d'autres employés de ce groupe élaborent le diagramme de charge de la pile, indiquant la position que doit occuper chaque boîte dans la pile afin de donner à son contenu la radioactivité correcte. La prise de charge radioactive exponentielle d'un échantillon peut se calculer en fonction de ses propriétés et des caractéristiques d'irradiation de la pile. On peut obtenir des calculs rapides au moyen de la règle à calcul circulaire imaginée par W. S. Eastwood [14].

Il y a des éléments qui absorbent les neutrons particulièrement vite, si bien qu'ils peuvent amener une baisse locale du flux des neutrons, et gêner l'irradiation des échantillons voisins et même leur propre irradiation, jouant pour eux-mêmes le rôle d'écran. Les couches extérieures de l'échantillon absorbent une quantité de neutrons capables de réduire l'activité produite à l'intérieur, si bien que l'activité globale conférée à l'échantillon peut être très inférieure à la valeur calculée. On peut diminuer ces effets en contrôlant avec soin les dimensions des échantillons très absorbants et leur répartition dans la pile.

Les matériaux à irradier doivent être examinés minutieusement, car ils doivent remplir certaines conditions physiques et chimiques. L'élément à irradier ne doit pas être lié chimiquement à d'autres éléments à grande absorption de neutrons, ou susceptibles d'acquérir de trop fortes radioactivités indésirables. Les composés ne doivent ni fondre ni bouillir dans des conditions plus énergiques que celles qui prévalent dans la pile; enfin, les matériaux susceptibles de se décomposer sont particulièrement suspects. Les liquides dont les points d'ébullition sont supérieurs d'au moins 50 à 100° à la température de la pile peuvent être irradiés s'ils sont chimiquement stables, et enfermés dans des ampoules de silice fondue. On se sert de silice fondue pour ces ampoules, pour la même raison que l'on utilise l'aluminium pour les boîtes des solides. Tous deux absorbent faiblement les neutrons et leur radioactivité acquise est éphémère. Depuis que l'on a adopté ce système de disposition et de vérification des irradiations dans la pile, on en a effectué plusieurs milliers avec un nombre total d'erreurs très restreint.

PHOSPHORE 32 ET IODE 131

Parmi les commandes de substances radioactives chimiquement pures, la plupart concernent le phosphore 32 de période 14,3 jours et l'iode 131 de période 8 jours. Tous deux servent aux études de métabolisme, et en thérapeutique pour un nombre très restreint de maladies. Ces éléments fournissent à eux deux dans leurs méthodes de préparation, l'illustration de la plupart des procédés de manipulation de quantités d'isotopes actifs de l'ordre du curie, sans support inactif, ainsi que des procédés de séparation de microgrammes de substance active à partir de centaines de grammes de composé-cible, de façon à obtenir un produit d'une pureté chimique presque absolue. Ils prouvent aussi que ce que l'on peut faire dans des béchers sans écran, avec des activités de l'ordre du millicurie, doit s'accomplir à l'intérieur d'un appareillage presque entièrement contrôlé à distance, si les activités sont plusieurs centaines de fois supérieures. De ces deux radio-isotopes, le phosphore 32 est celui dont les applications sont les plus étendues car, outre ses emplois médicaux, il est du plus haut intérêt pour les recherches agricoles et biochimiques.

Ce phosphore 32 émet des particules β d'énergie maximum 1,7 MeV, et n'émet pas de rayons γ. On le prépare en irradiant le soufre ordinaire; l'isotope de masse 32 absorbe un neutron, émet un proton et se transforme de la sorte en phosphore 32. On extrait du soufre-cible le phosphore 32 et on le convertit en acide orthophosphorique.

Le procédé utilisé à Harwell [15] pour la préparation du phosphore 32 est, du point de vue chimique, sensiblement le même que celui d'Oak Ridge (U.S.A.), mais l'appareillage est tout autre.

On prend à la fois deux, trois ou six blocs de 300 g de soufre irradié que l'on dégage de leurs enveloppes au moyen de cisailles et de pinces maniées à travers un écran Perspex. Chaque bloc contient environ 0,3 curie de phosphore 32. On les fait fondre et on les extrait à 130° environ à l'acide nitrique 0,2N dans un récipient de Pyrex dans un autoclave en acier inoxydable, avec agitation extérieure. Quelques heures plus tard, le phosphore 32 apparaît presque tout entier dans la phase aqueuse, à l'état d'ion orthophosphate. Par refroidissement, le bloc de soufre est séparé et rejeté. La solution restante contient l'acide orthophosphorique que l'on veut, l'acide nitrique, et parfois un peu d'acide sulfurique contenant du soufre 35 radioactif, enfin des impuretés organiques et minérales.

Cette solution se manipule entièrement derrière écran Perspex; les solutions successives passent par aspiration dans de petits réservoirs et changent de récipient par gravité. Premièrement, la solution est

aspirée dans un réservoir et traverse un filtre de verre pour arriver à un ballon à distillation à enveloppe vide (figure 6), où le volume est réduit de 1500 à 80 cm³ environ. Elle est aspirée dans un second réservoir puis descend dans un réacteur où elle est maintenue par air comprimé au-dessus d'un disque de verre fritté et reçoit environ 20 mg d'hydroxyde de lanthane qui absorbent le phosphore. L'acide nitrique et les traces d'acide sulfurique restent en solution sous forme de sels ammoniacaux. On redissout, reprécipite et refiltre; on dissout le précipité dans l'acide chlorhydrique et on le fait descendre dans un petit évaporateur chauffé à la vapeur de xylène. On recommence l'évaporation jusqu'à dessication presque totale, en ajoutant chaque fois de l'eau pour réduire la teneur chlorhydrique. Les impuretés organiques sont détruites par l'eau oxygénée, et l'on obtient un résidu, repris dans l'acide chlorhydrique 0,1N.

La solution monte par aspiration dans un troisième réservoir, puis descend le long d'une colonne de résine échangeuse de cation pour arriver à un dernier évaporateur. Elle est désormais libérée de toute impureté minérale radioactive ou non, mais peut garder de son passage sur la colonne de résine des traces organiques.

On évapore la solution presque à sec; on la traite deux ou trois fois avec quelques gouttes d'eau oxygénée très pure à 100 volumes. En définitive on l'évapore à sec une fois avec de l'eau tri-distillée, et on en fait une solution standard que l'on étalonne en contenu radioactif par cm³ et que l'on analyse spectrographiquement.

Les différentes commandes de phosphore 32 sont groupées dans la liste de répartition hebdomadaire et la solution est partagée, stérilisée et envoyée. Il faut apporter beaucoup de soin à la conservation et à la répartition de ces solutions car la moindre poussière peut adsorber une grande partie de la radioactivité. Les moisissures ou les bactéries qui s'y développeraient métaboliseraient rapidement le phosphate pour en faire d'autres composés phosphorés et rendre par conséquent la solution inutilisable. Si les solutions sont préservées de toute poussière, légèrement acide ($pH \simeq 3$), avec un taux d'activité supérieur à 10 millicuries par cm³ et si on stérilise avant le départ, l'activité se maintient sous la forme chimique correcte.

L'iode 131 s'obtient encore principalement à partir du tellure. L'un des isotopes naturels du tellure, le tellure 130, se transforme par la réaction (n,γ) en tellure 131 qui subit la dégradation β pour donner l'iode 131. L'isotope apparaît aussi en bon rendement comme produit de la fission de l'uranium, et l'iode 131, produit de fission, remplacera probablement, en 1952, l'iode provenant du tellure.

La méthode actuelle est la suivante [16]. On irradie le tellure pulvérisé, contenu dans une bouteille en aluminium à raison de 150 g par récipient. Après deux semaines d'irradiation sous une intensité de $8 \cdot 10^{11}$ neutrons au cm² par seconde, chaque bouteille contient environ 350 millicuries d'iode 131. On dissout individuellement le contenu de chaque bouteille dans le mélange sulfo-chromique. L'iode se dissout pour donner de l'acide iodique et le tellure de l'acide tellurique. On refroidit la solution et on la réduit au moyen d'acide oxalique. Grâce à ce réactif, l'iodate se réduit en iode élémentaire et les autres composants restent en solution. On peut séparer l'iode 131 en le distillant, et en l'absorbant sous forme d'iodure dans le bisulfite de sodium alcalin, mais la solution obtenue est impure et impropre à la plupart des usages. Elle contient des traces de tellure, d'acide oxalique et d'ion chromique. On la purifie en détruisant l'acide oxalique par du permanganate; on élimine ensuite ce dernier en solution sulfurique avec la quantité minimum d'acide oxalique; on distille encore dans le bisulfite alcalin. Ce deuxième distillat très pur est évaporé pour donner une solution dont on étalonne la radioactivité et dont on fait, comme de coutume, l'analyse spectrographique, avant de la répartir. Toute l'opération de préparation et de répartition de l'iode 131 doit s'accomplir derrière écran de plomb d'une épaisseur d'environ 5 cm (figure 6).

Le problème de la conservation des solutions de réserve sous la forme chimique correcte est, pour l'iode 131, de la même importance que pour le phosphore 32. L'action sur l'eau des rayons β et autres radiations ionisantes crée un milieu oxydant. L'iode 131 à 20–25 millicuries par cm³, en solution sous la forme chimique d'iodure peut, au bout de quelques jours, se transformer partiellement en iode élémentaire. On peut diminuer l'importance de cet effet en conservant ces solutions avec un léger excès de bisulfite à un pH de 7–9, et une radioactivité de 8 à 10 millicuries au plus par cm³.

Il existe presque toujours dans le tellure utilisé pour l'obtention d'I^{131}, une légère proportion d'iode ordinaire. Même lorsqu'on choisit comme élément-cible, un tellure contenant aussi peu que possible d'iode inerte, la solution d'iode 131 fraîchement préparée contient à peu près 0,5 microgrammes par millicurie d'iode inerte, ou encore une centaine d'atomes d'iode inerte pour un d'iode 131.

CARBONE 14

C'est le radioisotope le plus employé pour marquer des composés organiques dans les recherches biochimiques et académiques. Sa période est très longue — environ 6000 ans — et il n'émet que des particules β de faible énergie. Leur énergie maximum est d'environ 0,15 MeV. Il est particulièrement aisé, dans le cas du carbone 14, de voir pourquoi il faut d'abord préparer la substance radioactive sous une première forme chimique, pour faire ensuite la synthèse du composé voulu.

La réaction nucléaire utilisée dans la préparation du carbone 14 est la réaction (n,p) sur l'azote 14. On irradie généralement ce dernier sous forme de nitrate de potassium. Le carbone 14 apparaît principalement sous forme de gaz carbonique et on peut l'extraire en dissolvant le nitrate irradié dans l'acide nitrique étendu et en entraînant les gaz au moyen d'air privé de CO_2. On peut alors faire précipiter le carbone 14 en carbonate de barium dans un mélange d'hydroxydes de potassium et de baryum en solution. Ainsi préparé, le carbone 14 est accompagné d'une forte proportion de carbone inerte d'origine indéterminée. Il est courant d'expédier la substance à un taux isotopique de 5% de carbone 14.

Au centre radiochimique d'Amersham, on fait actuellement la synthèse de plusieurs composés organiques intermédiaires importants à partir du gaz carbonique produit d'irradiation, ainsi que d'autres synthèses plus vastes. Ces synthèses se font d'habitude avec un millicurie environ de C^{14} par millimole de composé. Cette activité est suffisante mais peut s'accroître dans le cas par exemple où l'on doit administrer à un animal une dose faible mais avec maximum de radioactivité possible.

EMPLOI DES TRACEURS RADIOACTIFS EN BIOCHIMIE

C'est dans ce domaine que les succès obtenus au moyen des composés marqués ont été les plus spectaculaires. Nous allons décrire ici très brièvement quelques usages types.

Le plus simple consiste à suivre un élément indépendamment de sa composition chimique. Il peut être important de connaître l'essentiel du métabolisme des éléments chez les animaux afin de voir s'ils sont retenus dans le corps et particulièrement s'ils se localisent, ou s'ils s'évacuent rapidement. L'accident causé par le radioisotope de tel ou tel élément peut être dû à son comportement dans le corps plutôt qu'à ses propriétés radioactives. A grande échelle on peut étudier la répartition de la radioactivité au moyen de compteurs et à petite échelle au moyen d'autoradiographies. L'étude de la répartition de l'iode 131, du sodium 24 et du phosphore 32 a servi à des diagnostics et aussi d'essai préliminaire à l'administration de doses massives de l'isotope comme moyen curatif.

Dans les systèmes chimiques très compliqués, certaines réactions peuvent s'étudier au moyen de composés marqués. Dans les organismes vivants, on peut administrer un composé marqué et retrouver la radioactivité sous une forme chimique inconnue. On peut identifier la nature chimique du produit radioactif de métabolisme en le mélangeant avec un échantillon pur de la structure présumée, puis en tâchant de séparer composé pur et résidu radioactif par des procédés physiques tels que la cristallisation répétée [17] et la chromatographie [18]. S'il est impossible de les séparer par l'un quelconque de ces procédés, leur identité chimique est probable mais non pas définitivement prouvée. Cependant, plus on fait d'essais différents et infructueux, moins il y a de chances pour que le résidu radioactif ne soit pas le même chimiquement que le composé pur.

Sans aucun doute, la méthode chromatographique combinée avec celle des mesures radioactives [18, 19, 21] est déjà le moyen le plus souple et le plus satisfaisant d'isoler, d'identifier et d'évaluer les quantités présentes d'un certain nombre de métabolites d'un seul composé marqué administré.

ÉTUDE DE LA PHOTOSYNTHÈSE

La possibilité de se procurer le carbone 14 a permis de remarquables progrès dans la chimie de la photosynthèse. Calvin [21] et ses collaborateurs ont élaboré des techniques grâce auxquelles on peut faire pousser dans les conditions normales des algues telles que *Chlorella*, ou même des feuilles vertes, pour ensuite les étudier dans un appareil où elles sont éclairées pendant des durées de temps déterminées en la présence ou l'absence de gaz carbonique marqué au carbone 14.

On découvrit vite l'insuffisance des méthodes classiques d'analyse pour l'étude des formes chimiques que prend le carbone 14, et l'usage s'étendit de la méthode combinant la chromatographie bidimensionnelle sur papier et l'autoradiographie; celle-ci s'applique à l'identification et au dosage semi-quantitatif de composés.

Calvin exécute la photosynthèse avec du gaz carbonique inactif ordinaire; puis interrompt l'arrivée du gaz, injecte du gaz carbonique marqué avec C^{14} sous forme de bicarbonate de sodium

aqueux, et continue la photosynthèse pendant un laps de temps pouvant aller de cinq secondes à plusieurs minutes, mettant fin à l'opération en versant le contenu du récipient de la réaction dans l'alcool chauffé. On espérait, en réduisant la durée de la photosynthèse, trouver le ou les composés où se fixait en premier lieu le gaz carbonique, puis en allongeant cette durée, suivre la transformation en d'autres composés.

Le succès obtenu fut remarquable. En dégradant des composés par des méthodes connues ou des modifications de méthodes connues, on réussit à étudier l'apparition de l'activité dans chaque atome de carbone des molécules en fonction de la durée de la photosynthèse, à déduire la succession des réactions et à supposer avec confiance l'existence d'intermédiaires dans les cycles de réactions. Ce genre d'étude illustre bien les possibilités de la méthode par traceur radioactif.

DILUTION ISOTOPIQUE

Si l'on introduit une petite quantité connue d'un composé marqué A* de radioactivité spécifique connue, dans un système chimique comparativement grand, où se trouve un constituant A en quantité inconnue, et le même chimiquement que A*, et si l'on mélange parfaitement, le composé marqué se dilue dans la masse inconnue de A. On prend un échantillon du mélange; on extrait A, on purifie au maximum et on mesure de nouveau l'activité spécifique. Si y est la quantité inconnue de A contenue dans le système, et x la quantité connue de A* ajoutée à l'origine avec une activité spécifique C_0, et si l'activité spécifique finale est C, on se rend compte facilement que:

$$y = \left(\frac{C_0 - C}{C}\right)x.$$

Ceci fournit un moyen de mesurer y lorsque l'on n'a pas mesuré la quantité finale de l'échantillon. Il suffit d'une purification chimique efficace et d'une mesure exacte des activités spécifiques. Cette technique a plusieurs applications dans les systèmes biologiques et autres.

MESURES CINÉTIQUES

La variation de l'activité spécifique d'un composé avec le temps est en réalité la variation avec le temps de la concentration de l'activité dans cette forme chimique particulière. L'étude des activités spécifiques des composés contenant un élément radioactif peut apporter beaucoup de renseignements dans de nombreux systèmes biologiques ou autres [20].

APPLICATIONS INDUSTRIELLES DES ISOTOPES RADIOACTIFS

Plusieurs applications industrielles viennent de passer dans la pratique courante. On peut les diviser en deux catégories essentielles. Celles d'abord qui sont des adaptations des applications biologiques: leur méthode est généralement simple mais à vaste échelle, exigeant parfois la préparation d'importantes sources de matériaux radioactifs. Deuxièmement, celles qui utilisent les radiations des substances radioactives pour leurs propriétés physiques.

Un exemple de la première catégorie est le repérage de la jonction entre deux variétés différentes de pétrole pompé dans un pipeline, l'élément de marquage étant d'activité γ afin que l'on puisse observer son déplacement du dehors. Autre application générale: la localisation des fuites dans les gaines des câbles téléphoniques en insufflant dans le câble des vapeurs de bromure de méthyle radioactif marqué au brome 82, et en détectant la radioactivité au voisinage de la fuite [22]. On peut faire des études à vaste échelle du degré d'aération des immeubles en observant la diminution d'activité d'un gaz rare due à sa dilution continue dans l'air pur.

On peut étudier l'usure d'une machine en en rendant une partie radioactive puis, après quelque temps de marche, en mesurant les débris radioactifs dans l'huile de lubrification. Cette technique a l'avantage de permettre d'explorer des parties définies de la machine et le temps nécessité par cette mesure est bien inférieur à celui qu'exigerait la mesure habituelle de la durée de résistance.

Quant aux usages industriels des radiations elles-mêmes, ils sont de trois sortes. Premièrement, les sources d'activité γ servant à la radiographie des pièces moulées, des soudures et des mécanismes par des essais non destructeurs. Les appareils à rayons X de voltage convenable sont encombrants et coûteux, et la plus longue durée d'exposition nécessitée dans le cas d'une source γ est en partie compensée par le fait qu'il est souvent possible de radiographier avec la même source tout un groupe de pièces moulées à la fois. Comme sources de rayons γ on se servait beaucoup de radium et de radon qui ont l'inconvénient d'être, le premier coûteux, le second éphémère: une série de sources produites par les piles, qui reçurent un accueil immédiat a été mise à la portée de l'industrie. Il apparaît jusqu'à présent que les isotopes les plus employés sont le cobalt 60, de période 5,3 ans donnant des rayons γ de 1,17 et 1,33 MeV; le tantale 182 de période de 117 jours et d'énergies

γ identiques; et l'iridium 192 de période 70 jours donnant des radiations de 0,5 MeV. On s'occupe de créer de nouvelles sources à des fins similaires [23].

Une seconde application industrielle est la mesure sans contact de l'épaisseur de matériaux en feuille. Plaçons une source de rayons β le long d'une feuille de papier en mouvement: la proportion du rayonnement absorbée dépend de l'épaisseur du papier, exprimée en mg par cm^2. S'il y a par ailleurs une feuille d'épaisseur standard entre une deuxième source et une deuxième chambre d'ionisation, les deux chambres peuvent être connectées en opposition, de façon à obtenir un appareil de zéro. Tout écart à l'épaisseur standard du papier manufacturé s'enregistre instantanément, et peut se corriger sur l'appareil.

Les particules β diffusent dans la matière. La proportion diffusée en arrière augmente notablement avec le numéro atomique. Si la source de rayons β et le détecteur sont du même côté d'une feuille de matière, la proportion de rayons β diffusée en retour est une mesure de l'épaisseur de cette matière, pourvu qu'elle soit mince vis-à-vis de l'épaisseur de demi-absorption de la radiation diffusée. Si la substance est recouverte d'un élément de numéro atomique très différent, la diffusion en retour sera modifiée par le revêtement, et on mesure ainsi l'épaisseur du revêtement. Ainsi, des laques sur l'acier réduisent la diffusion en retour, et l'étain l'augmente. On mesure ainsi des couches d'étain sur acier d'une épaisseur voisine de $25 \cdot 10^{-4}$ mm avec une précision limite de $25 \cdot 10^{-6}$ mm.

Des revêtements trop lourds pour les particules β relèvent de l'emploi de jauges d'épaisseur à rayons γ, ou à diffusion en retour de rayons γ, mais il y a un domaine d'épaisseurs excessives pour les particules β, et trop faibles pour les rayons γ. On cherche à obtenir de nouvelles sources de rayons γ à très faible énergie pour résoudre ce problème particulier [24].

La troisième application des radiations est dans la dispersion de l'électricité statique dans l'appareillage industriel. Dans bien des fabrications, on utilise des isolants, qui peuvent acquérir des charges statiques qui en rendent la manipulation difficile, avec parfois un danger d'incendie. Des sources radioactives ionisent l'air localement, et permettent la fuite de l'électricité vers le sol. Aux Etats-Unis, on utilise surtout les particules α, mais il y a des inconvénients. Les sources β, d'énergie et de période convenables, sont parfaitement utilisables: des charges moyennes disparaîtront en présence de thallium 204, de période 3 ans, et d'énergie maximum 0,7 MeV. Pour des charges plus sérieuses, il faut des sources plus intenses, de longue période, et d'énergie modérée, dans des récipients de sécurité, pour éviter les dangers dus aux radiations, même en cas d'incendie de l'usine.

Depuis dix ans, et surtout depuis cinq ans, on a mis au point un certain nombre de méthodes d'utilisation des propriétés des corps radioactifs. Il serait excessif de prétendre qu'il n'apparaîtra plus de nouveauté dans les principes pendant quelque temps, mais cependant, on cherche plutôt maintenant à trouver de nouvelles sources, et à utiliser la pile, et à adapter les méthodes déjà mises au point dans le domaine biochimique à la solution de problèmes fondamentaux et industriels.

BIBLIOGRAPHIE

[1] PERLEY, ANNE, FORBES, G. B. et PENNOYER, MIRIAM M. *J. Pediat.*, **38**, 299, 1951.

[2] SZILARD, L. et CHALMERS, T. A. *Nature*, **134**, 462, 1934.

[3] ARROL, W. J., WARREN, D. T. et POUNDS, PAMELA. *Atom. Energ. Res. Estab. Mem.* I/M 10.

[4] «Introductory Manual on the Control of Health Hazards». Medical Research Council, Londres. 1949.

[5] SHARPE, J. et TAYLOR, D. *Proc. Instn. Elect. Engrs*, **98**, partie II, 174, 1951.

[6] HENRIQUES, F. C. JR. et MARGNETTI, C. *Industr. Engng Chem.* (*Analyt. Edit*), **18**, 417, 1946.

[7] VEALL, N. *Brit. J. Radiol.*, **21**, 347, 1948.

[8] PUTMAN, J. L. *Ibid.*, **23**, 46, 1950.

[9] «Conference on Absolute β-counting». National Research Council, Washington. 1950.

[10] CURRAN, S. C. et CRAGGS, J. D. «Counting Tubes», Butterworths, Londres. 1949.

[11] PELC, S. R. *Nature*, **160**, 749, 1947.

[12] STEVENS, G. W. W. *Ibid.*, **161**, 432, 1948.

[13] HALLIDAY, E. C. et ALPER, TIKVAH. *Ibid.*, **166**, 110, 1950.

[14] EASTWOOD, W. S. *Atom. Energ. Res. Estab. Rep.* I/R 333.

[15] ARROL, W. J. *Ibid.*, I/R 748.

[16] *Idem. Ibid.*, I/R 777.

[17] MORTON, M. E. et CHAIKOFF, I. L. *J. Biol. Chem.* **147**, 1, 1943.

[18] FINK, R. M., DENT, C. E. et FINK, K. *Nature*, **160**, 801, 1947.

[19] WINTERINGHAM, F. P. W. «Radio-isotope Techniques», Vol. I. Her Majesty's Stationery Office, Londres. Sous presse.

[20] RADIN, N. S. *Nucleonics*, **2**, 50, 1948.

[21] CALVIN, M. *J. chem. Educ.*, **26**, 639, 1949.

[22] GUÉRON, J. «Radio-isotope Techniques», Vol. II. Her Majesty's Stationery Office, Londres. Sous presse.

[23] EASTWOOD, W. S. *Nucleonics*, **9**, 50, 1951.

[24] WEST, R. *Ibid.* **9**, 76, 1951.

Les bactéries lysogènes—I

ANDRÉ LWOFF

Exposé des caractéristiques des bactéries lysogènes et bactériophages et des recherches tendant à prouver l'existence de systèmes lysogènes. Description de trois expériences qui démontrent que la lysogénie est héréditaire et que seule la lyse bactérienne libère des bactériophages: certaines bactéries se multiplient sans libérer de bactériophages, mais perpétuent la souche lysogène, particule spécifique (probactériophage) non-infectieuse et non-pathogène, mais susceptible de devenir un bactériophage létal.

INTRODUCTION

Les bactériophages sont des particules qui possèdent en général toutes les qualités et les défauts que l'on se plaît à considérer comme caractéristiques des ultravirus: virulence, c'est-à-dire pouvoir infectieux et pouvoir pathogène, petite taille — moins de 1300 Å — et propriété de ne pouvoir se reproduire qu'à l'intérieur d'une cellule souvent spécifique. Cependant, chez les bactéries dites lysogènes, le bactériophage se présente sous les espèces d'un virus potentiel, d'un probactériophage non-infectieux et non-pathogène. Mais parfois, les probactériophages se développent en bactériophages qui, libérés par la lyse bactérienne, peuvent infecter et lyser des bactéries sensibles appartenant à la même espèce ou à des espèces voisines. Les bactéries lysogènes perpétuent héréditairement la possibilité de produire des bactériophages. Elles nourrissent dans leur sein une particule spécifique douée de continuité génétique qui, selon toute apparence, se comporte comme une particule normale, mais peut, dans certaines conditions, se transformer en virus. Il y a là une situation assez curieuse et digne d'éveiller notre intérêt. L'attention du lecteur est tout particulièrement attirée sur l'expression «dans certaines conditions» qui prendra sa signification et toute sa valeur dans le deuxième article.[1]

PRÉSENTATION DU BACTÉRIOPHAGE — LES SYSTÈMES ORDINAIRES

Pour permettre à ceux qui n'ont pas vécu dans l'intimité microbienne de pénétrer sans effort le corps de doctrine relatif à la lysogénie, il convient de présenter tout d'abord les systèmes ordinaires. On désigne ainsi les systèmes constitués par le couple bactérie sensible + bactériophage virulent.

On sait que le bactériophage est une particule généralement sub-sphérique, dont le diamètre varie entre 200 et 1000 Å et constituée presque exclusivement par du matériel désoxyribonucléoprotéique. Il est parfois muni d'un appendice filiforme qui, pour des motifs non-scientifiques, en raison de vagues analogies de forme, est dénommé «queue». Lorsqu'un bactériophage pénètre dans une bactérie sensible, celle-ci cesse de croître. Si les conditions sont favorables, si le milieu renferme les aliments voulus, la bactérie se lyse après une vingtaine de minutes en libérant une centaine de bactériophages.

L'étude de la bactériophagie devait commencer par ces systèmes ordinaires dont les éléments ont été soigneusement sélectionnés en raison de propriétés précieuses, parmi lesquelles le caractère dramatique de leurs relations. Mais ces systèmes représentent le terme extrême d'une évolution. La bactériophagie ordinaire est une bactériophagie suraiguë, une bactériophagie de cirque, fort différente à beaucoup de points de vue de la lysogénie qui, on le verra, doit être envisagée comme la forme phylogénétiquement primitive de la bactériophagie.

Habitués à considérer une issue sanglante et fatale comme le terme obligé de toute rencontre entre bactéries et bactériophages, certains spécialistes des systèmes ordinaires ont dénié aux systèmes lysogènes le droit à l'existence théorique en raison de leur caractère anormalement pacifique. Mais les systèmes lysogènes ont victorieusement survécu à cette condamnation arbitraire, démontré leur réalité, et converti leurs juges à une conception plus souple de la bactériophagie.

HISTOIRE DE LA LYSOGÉNIE

Les bactéries lysogènes ont été ainsi prénommés au moment où les bactériophages qu'elles produisent étaient appelés principes lysogènes. L'expression «bactérie phagogène» serait plus logique et plus claire. C'est en 1921 que Lisbonne et Carrère découvrent qu'une souche d'*Escherichia coli* (= *Bacterium coli*) produit un bactériophage qui lyse

[1] La deuxième partie paraîtra dans le numéro suivant.

certaines souches de bacilles dysentérigènes appartenant au genre *Shigella*. Si les souches lysogènes n'avaient été, suivant la conception exprimée alors par F. d'Hérelle, qu'une population mixte, vaguement équilibrée, de bactéries peu sensibles et de bactériophages peu virulents, elles n'auraient pas présenté un grand intérêt. Mais J. Bordet montre en 1925 que, dans une souche lysogène, chacune des bactéries donne naissance à une colonie lysogène. Il en conclut que le bactériophage est «inscrit dans la trame héréditaire de la bactérie». Et comme les bactéries lysogènes sont insensibles aux bactériophages qu'elles produisent, J. Bordet conclut également qu'elles sécrètent des bactériophages sans en souffrir. On verra tout à l'heure ce qu'il faut penser de cette prétendue sécrétion. Puis les travaux de F. M. Burnet et de ses collaborateurs apportèrent à la connaissance des bactéries lysogènes des données d'une importance capitale.

(1) L'on peut obtenir facilement des systèmes lysogènes en mélangeant des bactéries non lysogènes et des bactériophages convenablement choisis. Dans ces conditions, la grande majorité des bactéries infectées se lysent. Une faible proportion, disons pour fixer les idées de l'ordre de 10^{-7}, résiste, se multiplie, donnant naissance à des clones qui se révèleront lysogènes. Rappelons qu'un clone est l'ensemble des individus issus d'un individu unique par voie végétative ou asexuelle.

(2) Les bactériophages produits par ces souches lysogènes expérimentales sont identiques aux bactériophages originels. Les bactéries lysogènes perpétuent donc une particule spécifique.

(3) La lyse expérimentale des bactéries lysogènes ne libère pas de bactériophages. De cette constatation, F. M. Burnet et M. McKie ont conclu en 1929 que le bactériophage se perpétue dans les bactéries lysogènes sous la forme d'une ébauche non-infectieuse.

(4) Dans une culture de bactéries lysogènes, seule une petite proportion des bactéries libèrent des bactériophages.

Les bactéries lysogènes, concluent les auteurs australiens, contiennent dans leur constitution héréditaire une unité capable de libérer des bactériophages. Cette unité est une ébauche. Pour qu'elle libère des bactériophages, une activation spontanée est nécessaire, qu'ils supposent devoir être analogue à celle qui intervient dans les réactions monomoléculaires ou les désintégrations radioactives.

C'est donc de 1929 que date la découverte fondamentale de la perpétuation d'un virus sous forme d'une ébauche non-infectieuse et non-virulente. Il s'écoulera plus de 15 ans avant que l'on ne redécouvre le stade non-infectieux dans le cycle des bactériophages ordinaires et que l'on n'étende cette notion de stade non-infectieux aux virus de l'encéphalomyélite et de la grippe. Le travail de F. M. Burnet et M. McKie avait été enseveli dans le linceul de l'indifférence générale. Et sans doute, le silence est-il la forme la plus raffinée et la plus efficace du supplice infligé aux précurseurs, car F. M. Burnet lui-même, dans son livre *Virus as Organisms* (1946), ne fait aucune référence à son propre travail de 1929.

Cependant, les recherches sur les bactéries lysogènes se multipliaient. On retiendra la découverte de la lysogénie chez *Bacillus megatherium* par den Dooren de Jong en 1932. L'auteur hollandais montre que les spores du bacille donnent naissance à des clones lysogènes. Quelques années plus tard, E. et E. Wollman constataient que le lysozyme ne libère pas de bactériophages à partir de *B. megatherium* lysogène, retrouvant ainsi la conclusion des auteurs australiens relative à l'existence d'un stade non-infectieux du bactériophage.

Enfin, J. Northrop en 1939 détermine l'augmentation du nombre des bactériophages et la production de gélatinase au cours de la croissance d'une culture de *B. megatherium* lysogène. Les courbes lui semblent parallèles, ce qui justifie à ses yeux la conclusion selon laquelle le bactériophage est un enzyme et que cet enzyme est sécrété durant la croissance bactérienne.

LIMITES DE LA STATISTIQUE ET DU RAISONNEMENT

Admettons que dans une culture en voie de développement le rapport nombre de bactéries/nombre de bactériophages reste constant et que la valeur de ce rapport soit égale à l'unité. Ce résultat peut être, théoriquement, atteint de deux façons différentes: (*a*) chacune des bactéries libère un bactériophage chaque fois qu'elle se divise; (*b*) dans l'intervalle de temps séparant deux divisions, un pourcentage donné de bactéries libérera de nombreux bactériophages; par exemple une bactérie sur 200 libérera 200 bactériophages. Dans ce cas le taux de croissance théorique sera diminué de 0,5%, ce dont il est difficile de se rendre compte car l'on ne peut guère mesurer un taux de croissance avec une précision supérieure à 5%. L'étude d'une population bactérienne ne permet pas de choisir entre les hypothèses *a* et *b*.

Si des *B. megatherium* lysogènes sont mis en contact avec les bactériophages qu'ils produisent, ces bactériophages sont adsorbés et les bactéries

continuent cependant à se développer. Les bactéries lysogènes sont manifestement résistantes aux bactériophages qu'elles libèrent. Dans les systèmes ordinaires, les mutants résistants à un bactériophage donné n'adsorbent pas ce bactériophage et d'un point de vue strictement opérationnel, on peut les qualifier d'imperméables. La résistance d'une bactérie lysogène est, on le voit, toute différente puisqu'elle est pénétrée par le bactériophage; c'est une manière d'immunité. Il n'est donc pas surprenant que la conception de J. Bordet, en vertu de laquelle les bactéries lysogènes libèrent des bactériophages sans en souffrir, les sécrètent, ait été généralement acceptée.

Comment, en effet, concevoir *a priori* que l'un des stades seulement du cycle du bactériophage dans une bactérie lysogène présentait un caractère pathogène. Aucun raisonnement par analogie, aucune analyse mathématique du comportement d'une population, ne pouvaient conduire à cette conclusion. Pour savoir ce qui se passe réellement, pour connaître la façon dont les bactéries lysogènes libèrent les bactériophages qu'elles produisent, il suffisait d'étudier un individu bactérien, mais il fallait n'en étudier qu'un seul.

LA LYSOGÉNIE À L'ÉCHELON UNITAIRE

Pour mettre en œuvre une bactérie, on a employé le dispositif représenté sur la figure 1. C'est une boîte en matière plastique renfermant un rhéostat et un thermo-régulateur. Elle contient un microscope et deux micromanipulateurs. L'un, le micromanipulateur de Fonbrune, servira à prélever des bactéries, à les transférer de goutte en goutte et à prélever des échantillons de milieu. L'autre, le micromanipulateur de Zeiss-Peterfi, servira à maintenir et à déplacer une pipette Pasteur préalablement remplie de liquide. L'orifice de celle-ci pourra être amené au centre du champ du microscope et il sera alors loisible d'injecter le contenu de la micropipette dans la pipette Pasteur. Celle-ci une fois chargée sera traitée comme une pipette ordinaire, c'est-à-dire que son contenu pourra être transféré sur un tube de gélose par exemple. Le milieu de culture utilisé pour les micromanipulations est déposé sur une lamelle, en gouttes de tailles diverses (figure 2); les petites gouttes ayant un diamètre d'une centaine de μ. Cette lamelle sera, suivant la technique classique, renversée sur une lame évidée, l'espace libre étant rempli d'huile de paraffine qui empêche l'évaporation des guttules, permet la diffusion de l'oxygène et permet aussi naturellement les mouvements de la micropipette.

Expérience 1. Un *B. megatherium* est prélevé dans une culture de bactéries lysogènes. Il est transféré successivement dans 5 grosses gouttes pour le débarrasser des bactériophages libres qui pouvaient l'accompagner. Puis il est injecté dans une microgoutte de milieu nutritif (figure 4). Après chacune des divisions, l'une des bactéries filles sera prélevée avec un peu de liquide. La bactérie prélevée sera transférée sur une boîte contenant de la gélose nutritive et ensemencée préalablement avec une souche de *B. megatherium* sensible au bactériophage produit par la souche lysogène. Cette opération est répétée jusqu'à la 19ème division. A ce moment, les deux bactéries filles sont prélevées et ensemencées avec tout le liquide de la microgoutte.

Chacune des 20 boîtes (figure 3) a montré une seule plage de lyse centrée par une colonie. Ceci veut dire que chacune des bactéries a donné naissance à une colonie qui a produit des bactériophages, c'est-à-dire a fait souche d'un clone lysogène. S'il y avait eu libération de bactériophage dans la microgoutte au cours des 19 divisions, on aurait vu des plages de lyse sur la boîte. Il n'y en a eu aucune en dehors de la plage entourant la colonie lysogène. La lysogénie s'est donc maintenue au cours de 19 divisions en l'absence de tout bactériophage extrinsèque. Si la lysogénie était perpétuée grâce à des bactériophages extrinsèques, ceux-ci, dans notre expérience, devaient se trouver, à l'origine, à l'intérieur de la bactérie mise en œuvre. S'ils avaient été également répartis entre les bactéries filles au cours des 19 divisions, ceci impliquerait que la bactérie originelle contenait plus de 2^{19}, c'est-à-dire plus de 524 288 bactériophages, ce qui est géométriquement impossible en raison des dimensions du bactériophage et de la bactérie. La lysogénie se perpétue donc par voie endomicrobienne, c'est-à-dire qu'elle est héréditaire.

Cette expérience montre aussi que des bactéries lysogènes peuvent se multiplier sans libérer de bactériophages. La libération de bactériophages, à l'inverse des synthèses d'enzymes constitutifs, n'accompagne donc pas obligatoirement la croissance et la division microbienne normales.

Expérience 2. Un filament de 4 bactéries est lavé et transféré en microgoutte, où il se multiplie. Des prélèvements sont effectués à intervalles réguliers (figure 5) et ensemencés sur la bactérie sensible. Aucune des boîtes ne révélera la présence de bactériophage. Lorsqu'il y a 64 bactéries dans la microgoutte, on y injecte du lysozyme. Les bactéries sont lysées. La totalité de la guttule est alors

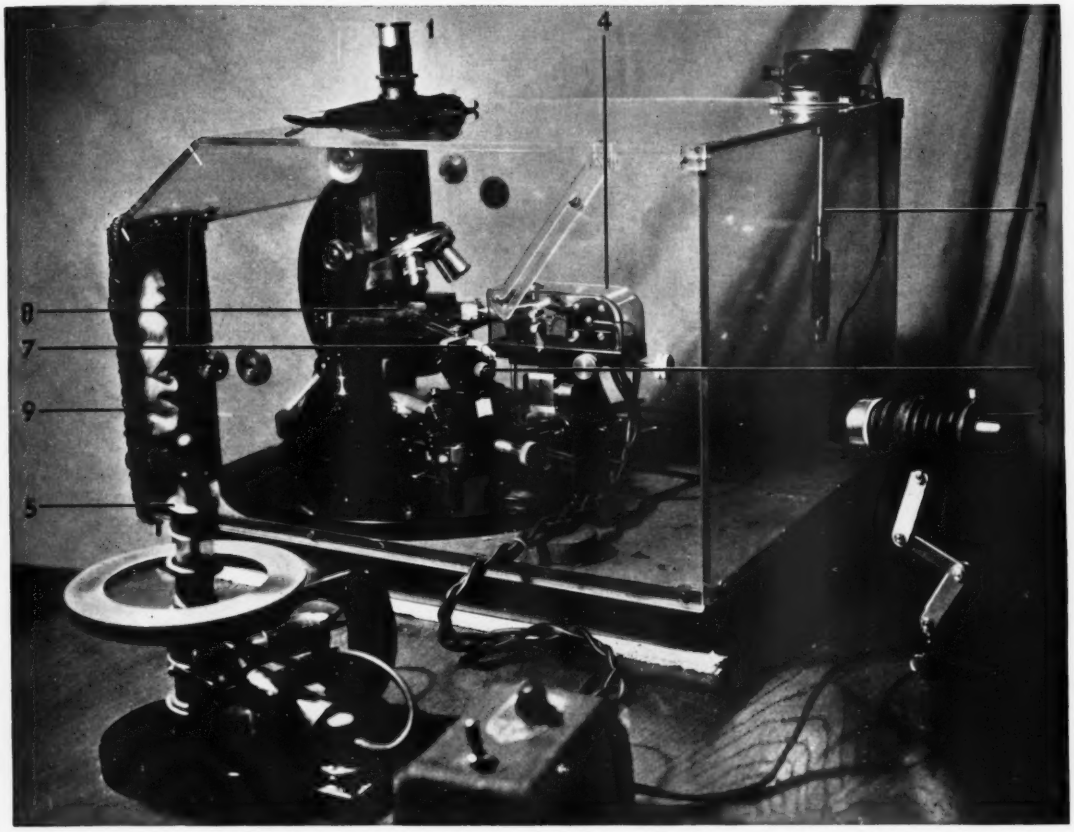


FIGURE 1 – *Boîte-étuve utilisée pour les micromanipulations. (1) Microscope, (2) thermo-régulateur, (3) lampe pour l'éclairage du microscope, (4) micromanipulateur de Fonbrune, (5) levier de commande du micromanipulateur de Fonbrune, (6) micromanipulateur de Zeiss-Peterfi, (7) pipette Pasteur, (8) chambre à huile, (9) l'une des 2 fentes garnies de rideaux (le droit), permettant l'introduction des mains dans l'appareil.*

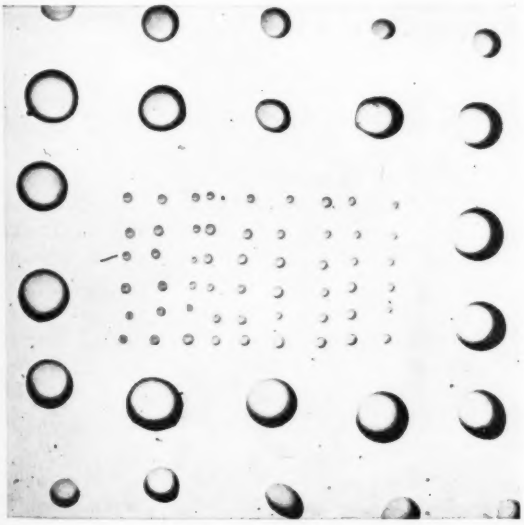


FIGURE 2 – *Photographie de la lamelle portant des gouttes de milieu. Les petites gouttes ont un diamètre de 100 μ environ.*

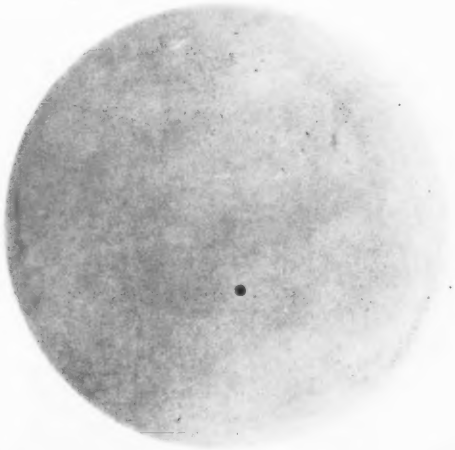


FIGURE 3 – *Photographie d'une boîte de Petri. Le fond gris uniforme représente la culture de la bactérie sensible. On note une plage (les bactéries sensibles ont été lysées) centrée par une colonie. Celle-ci s'est développée à partir d'un seul germe correspondant à la 19ème génération en guttule. (D'après A. Lwoff et A. Gutmann.)*

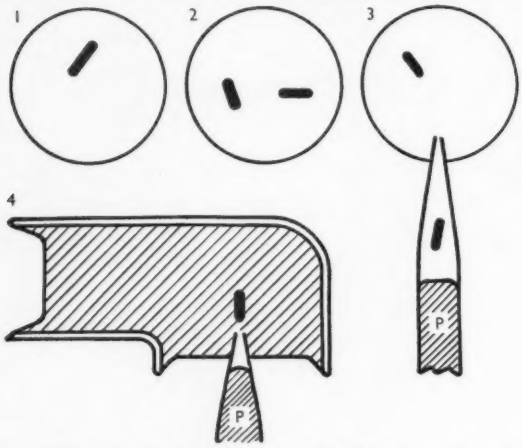


FIGURE 4 – *Une bactérie lavée est placée dans une guttule* (1) *où elle se divise* (2). *L'une des bactéries filles est prélevée* (3) *et est injectée dans la pipette Pasteur* (4). *Cette opération sera répétée* 19 *fois.* P: *Huile de paraffine.*

prélevée et ensemencée sur la bactérie sensible. On ne voit aucune plage de lyse. *B. megatherium* lysogène ne renferme effectivement pas de particule infectieuse. Et cependant, dans toute population suffisamment abondante de bacilles, il y a toujours des bactériophages libres. Comment sont-ils libérés ?

Expérience 3. Un filament diplobacillaire est lavé et transféré dans une goutte de milieu neuf (figure 6). Les bactéries se divisent. A la 65ème minute, il y a 8 bactéries et pas de bactériophage. Entre la 88ème et la 89ème minute on voit sous le microscope 4 bactéries disparaître successivement. La disparition est très rapide, l'observateur fixe une bactérie

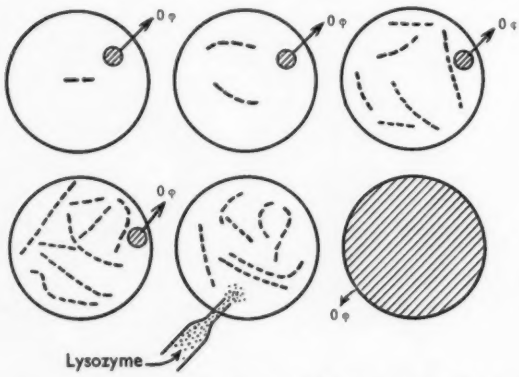


FIGURE 5 – *Des bactéries se développent en guttule. Les prélèvements ne révéleront pas de bactériophage* (0 φ). *Après injection du lysozyme et lyse bactérienne, la totalité de la guttule sera étalée sur la souche sensible: elle ne contient pas non plus de bactériophage.*

et en moins d'une seconde celle-ci s'évanouit sans laisser de traces visible. Cependant, dans la goutte où les 4 bactéries se sont lysées, il y avait 579 bactériophages. De nombreuses observations analogues ont été faites, la lyse bactérienne a été observée souvent. On a pu constater que 3 minutes avant la lyse, il n'y avait pas de bactériophages libres. Les bactériophages sont libérés par la lyse bactérienne, et uniquement par la lyse, la lyse d'une bactérie libérant de 100 à 200 bactériophages.

Ainsi, dans une population de bactéries lysogènes, certaines bactéries se multiplient sans libérer de bactériophages: ce sont elles qui perpétuent la souche lysogène. D'autres bactéries se lysent en libérant des bactériophages: ce sont elles qui expriment le caractère lysogène. Il y a incompatibilité entre la perpétuation des bactéries lysogènes et la production de bactériophages.

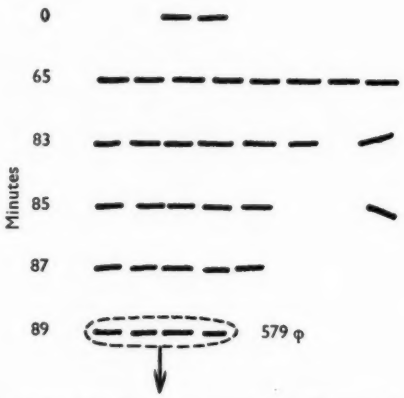


FIGURE 6 – *Des bactéries transportées dans une guttule se divisent. Puis quatre d'entre elles se lysent. Les quatre bactéries survivantes sont éliminées. On trouve* 579 *bactériophages dans la guttule.*

Les bactéries lysogènes perpétuent donc une particule spécifique, le probactériophage, non-infectieuse et non-pathogène, qui, selon les apparences, se comporte comme une particule normale. Mais ce probactériophage représente un caractère létal potentiel qui est tout entier dans son devenir hypothétique. C'est seulement si le probactériophage exprime ses potentialités en se développant en bactériophage que la bactérie sera tuée.

Les bactéries lysogènes peuvent, on l'a vu, adsorber les bactériophages qu'elles ont produit, apparemment sans en souffrir le moins du monde, à faible dose tout au moins. Le bactériophage n'est pas pathogène. La multiplication du probactériophage sous la forme de probactériophage

est compatible avec la survie de la bactérie-hôte. Le probactériophage n'est pas pathogène. C'est le développement du probactériophage en bactériophage qui constitue le fait pathologique.

Ajoutons que l'on ne connaît jusqu'ici aucun exemple de bactéries lysogènes sécrétant du bactériophage tout en continuant à se perpétuer. Le phénomène est théoriquement possible. En tout cas, sa réalité ne pourra être prouvée que par l'observation de bactéries isolées en microgouttes. Toute conclusion tirée de l'interprétation de données statistiques est là dépourvue de valeur démonstrative et représente une simple hypothèse.

LA GUÉRISON

Les bactéries lysogènes perpétuent une particule spécifique douée de continuité génétique. Comment cette particule est-elle «inscrite dans la trame héréditaire» du microbe ? Quel est son degré de coordination dans le protoplasme microbien ? Est-elle accolée à un organite bactérien, par exemple à un chromosome, ou jouit-elle d'un certain degré d'autonomie et d'indépendance ?

Des guérisons de bactéries lysogènes ont été parfois décrites sans que les facteurs de cette guérison aient été analysés. Mais N. A. Clarke et P. B. Cowles (communication personnelle) ont cultivé des *B. megatherium* en milieu synthétique additionné de citrate et ont constaté qu'après 75 passages la souche n'était plus lysogène et que, de plus, elle était devenue sensible au bactériophage produit avant sa guérison. Nous avons répété et confirmé cette expérience importante. Des souches lysogènes ont subi des passages rapides en milieu synthétique, additionné ou non d'oxalate. Au 27ème passage, les deux souches ne produisaient plus de bactériophages et elles étaient devenues sensibles. Comment interpréter ces résultats ? Il est vraisemblable que le taux de multiplication des probactériophages chez les bactéries cultivées en milieu synthétique doit être inférieur au taux de multiplication des bactéries. Ceci doit entraîner la diminution progressive du nombre des probactériophages, puis leur disparition. Quoi qu'il en soit, les bactéries perdent leur lysogénie. Mais pourquoi deviennent-elles sensibles ?

Un mélange de nos bactéries guéries et de bactériophages dans la proportion de 1 bactérie pour 5 bactériophages est ensemencé sur une couche de gélose nutritive. Toutes les bactéries sont infectées. La grande majorité se lysera. Quelques-unes cependant se développeront, donnant naissance à des clones qui se révéleront lysogènes.

On peut imaginer que dans une population de bactéries sensibles non-lysogènes, il se produit toujours des mutants résistants, ou plutôt immuns, c'est-à-dire des germes dans lesquels le bactériophage peut pénétrer et se transformer en probactériophage, et que perpétueront le probactériophage. Dans une population de germes sensibles, telle que nous l'avons considérée, c'est-à-dire en l'absence de bactériophages, la sélection naturelle favorise manifestement les germes sensibles, puisque ceux-ci sont en majorité. Si des bactériophages sont ajoutés, seuls les germes immuns se développeront, donnant naissance à une souche lysogène. Dans une telle population lysogène, les mutations réverses *immunité* → *sensibilité* permettront le développement des probactériophages en bactériophages et les mutants seront lysés. Dire que dans une population lysogène seuls les immuns peuvent persister, c'est exprimer un truisme. Si maintenant la population perd son probactériophage, les mutants sensibles de la souche qui n'est plus lysogène ne seront plus éliminés puisqu'il ne pourra pas y avoir production de bactériophages. Et ils prendront le dessus par le jeu de la sélection naturelle, puisqu'ils sont favorisés par rapport aux immuns.

Dans le sol, habitat naturel de *B. megatherium*, toutes les souches isolées jusqu'ici se sont révélées lysogènes. A partir du moment où des bactériophages existent dans un milieu naturel, seuls les germes résistants peuvent persister, et nous avons vu que, chez *B. megatherium*, résistance au bactériophage est synonyme de lysogénie. Ceci est vrai d'ailleurs pour de nombreuses espèces lysogènes, dont la résistance, contrairement à celle des bactéries ordinaires, n'est pas liée à une modification de la couche superficielle entraînant une impossibilité de pénétration du bactériophage. La résistance des bactéries lysogènes est liée à des propriétés du milieu bactérien qui permet uniquement la multiplication du probactériophage, à l'exclusion de son développement en bactériophage.

Les travaux de l'auteur relatifs aux bactéries lysogènes ont été effectués grâce à une subvention du *National Cancer Institute of the National Institutes of Health, Public Health Service*, des Etats-Unis d'Amérique.

BIBLIOGRAPHIE

On trouvera les références relatives aux travaux cités dans le mémoire suivant: A. Lwoff et A. Gutmann, *Ann. Inst. Pasteur*, **78**, 711–39, 1950.

Jumeaux vrais et hérédité des couleurs chez le bétail

JOHN HANCOCK

Travaux effectués à la Station Zootechnique de Ruakura en vue d'établir des critères de monozygotie (origine uniovulaire) basés sur diverses colorations de la peau et du pelage. Mise en évidence de neuf gènes produisant différents genres de coloration ou de tachetage qui révèlent la monozygotie. Possibilité d'utiliser ces constatations dans l'élevage de bestiaux adaptés aux conditions tropicales.

L'étude des jumeaux a puissamment contribué à résoudre le problème de l'importance relative des facteurs héréditaires et externes comme sources de différences entre les êtres humains. En principe, la méthode utilisée est la suivante. Il y a deux types de jumeaux: les vrais jumeaux (uniovulaires ou monozygotes) et les faux jumeaux (diovulaires ou dizygotes). Les jumeaux du premier type sont généralement identiques car ils sont dus au dédoublement d'un seul œuf. Les jumeaux du deuxième type se forment à partir de deux œufs séparés et ne sont pas plus identiques, au sens génésique, que de proches parents. Les différences physiques ou morales existant entre jumeaux vrais peuvent être entièrement attribuées aux facteurs externes, tandis que les différences entre faux jumeaux sont le fait des facteurs externes et de l'hérédité. Une comparaison de l'amplitude des différences notées à l'intérieur des deux classes de jumeaux constitue un test direct et précis de l'influence relative de la constitution et de l'élevage.

Le succès de l'étude des jumeaux en biologie humaine incita naturellement les zoologistes à utiliser une méthode semblable. Surtout chez le bétail si variable et à maturité si lente, l'on avait besoin d'un matériel expérimental homogène.

Dès 1924 [1], le premier groupe de vrais jumeaux fut décrit chez le bétail. L'étude progressa, mais très lentement par suite de l'assertion faite *a priori* qu'il était très difficile de distinguer les vrais jumeaux des faux, une très grande uniformité morphologique régnant dans les élevages de bétail.

Kronacher [2] établit le premier les règles de diagnose de zygocité pour les jumeaux de bétail. Il utilisa la méthode de similitude pratiquée en biologie humaine. Récemment nous avons montré [3] que cette méthode, légèrement modifiée, peut donner des résultats très précis: elle consiste en une comparaison critique, quoique entièrement subjective, de toutes les caractéristiques visibles; ceci tend à élucider le problème suivant: les différences sont-elles dans l'ensemble suffisamment faibles pour permettre d'affirmer que des jumeaux sont monozygotes ?

En général l'utilité d'un caractère pour la diagnose des jumeaux est d'autant plus grande (1) que le nombre des facteurs génésiques influençant ce caractère est plus élevé, (2) que les effets des facteurs externes sont plus faibles, (3) qu'ils sont plus faciles à discerner ou à mesurer par l'opérateur. La pigmentation de la peau et du pelage remplit ces conditions à des degrés variables. En 1933 [4], 19 gènes différents de coloration du poil avaient été signalés et plusieurs autres facteurs ont été ajoutés depuis. L'expression des gènes de coloration est en général faiblement influencée par les conditions externes, mais comme il est facile de distinguer à l'œil des différences mêmes très faibles, avant de diagnostiquer le monozygotisme des jumeaux, il faut savoir dans quelles limites chaque réalisation de couleur peut varier sous l'influence de facteurs non-germinaux.

Environ un millier de couples de jumeaux (de même sexe) ont été examinés durant les six dernières années, à la station de recherches zootechniques de Ruakura, en Nouvelle Zélande. Environ trois cents ont été jugés monozygotes. A la lumière des observations faites à Ruakura nous examinerons ici la valeur des couleurs variées des poils et de la peau comme critères de monozygotisme. Nous montrerons comment l'étude des jumeaux a donné quelques éclaircissements sur l'hérédité de ces caractères de coloration.

Nous suivrons la nomenclature d'Ibsen [4], mais nous utiliserons ses symboles pour indiquer l'expression phénotypique des gènes aussi bien

que pour désigner les gènes eux-mêmes. Dans les paragraphes suivants, il est entendu que chaque rapport sur les effets de coloration d'un gène est toujours tacitement modifié par la condition «si l'action des autres gènes n'interfère pas».

1. ROUX (R)

Tout le bétail présente le roux (R) excepté les albinos [4]. Cependant cette couleur ne se révèle pas toujours, car R est hypostatique[1] à plusieurs autres gènes. La robe rousse varie beaucoup, depuis le roux sombre de quelques Shorthorn jusqu'au blanc très pur de certaines Jersey. Des jumeaux vrais ont des livrées rousses identiques s'ils ont été traités de la même manière. Par contre, de faux jumeaux présentent souvent des différences prononcées par rapport à cette couleur. Il semble donc que la plupart, sinon toutes les variations du roux observées dans un troupeau de vaches sont imputables à des différences dans le patrimoine héréditaire. Pour le moment, il ne saurait être question de savoir si ces différences sont le fait d'un certain nombre de gènes spécifiques du roux, ou s'il existe des facteurs de dilution.

L'effet pléiotrope[2] de R sur la pigmentation de la peau n'a pas été mis au clair jusqu'ici. Selon les observations de Ruakura il semble que la pigmentation brune d'un animal R s'étend à toute la surface de la peau et non seulement à celle du nez et des paupières comme on le disait précédemment [4].

2. NOIR COMPLET (E)

Dans la terminologie d'Ibsen, tout le bétail est génésiquement noir (B), mais le pigment noir ne s'étend à tous les poils que si l'animal porte aussi le facteur E. Trois couples de jumeaux monozygotes noirs de Ruakura, qui d'après leurs pedigrees, étaient hétérozygotes pour E, étaient uniformément roux ou bruns à la naissance, mais devinrent noir de jais en déposant leur robe de naissance. Un quatrième groupe tourna au gris sombre et garda cette couleur. Il semble donc que lorsque E est hétérozygote, il n'est pas absolument épistatique[3] au roux R.

3. NOIRÂTRE (B_s)

Généralement, dans cette disposition de couleur, le poil noir est concentré sur certaines aires. Il y a cependant de très grandes variations dans l'extension de ces aires. A l'un des extrêmes, un animal B_s peut paraître totalement noir, tandis qu'à l'autre extrême, les poils noirs paraissent seulement dans les queues. Toutes les gradations se trouvent entre ces deux extrêmes. De vrais jumeaux semblablement traités ne présentent aucune différence, tandis que de faux jumeaux sont souvent très différents. Si les jumeaux ont été soumis à des conditions externes très différentes, la disposition de couleur B_s n'est pas un bon critère de zygocité. D'après les observations de Ruakura, l'extension du poil noir chez les animaux gardés à l'étable diminue par rapport à celle de leurs cojumeaux élevés dehors. La lactation est aussi un autre facteur éclaircissant de la robe. Si l'on s'écarte de ces conditions, il semble que toutes les variations du noir peuvent être expliquées par des différences génésiques. Les gènes qui conditionnent les différentes robes rousses ne paraissent pas affecter le pelage noir, car tous les degrés de roux peuvent être trouvés en combinaison avec un degré quelconque de pelage noir.

L'effet pléiotrope de B_s sur la couleur de la peau n'avait pas été traité convenablement dans les précédents travaux. Comme la disposition de la pigmentation de la peau est la marque distinctive entre un animal B_s et d'autres types très proches phénotypiquement mais différents génésiquement, nous en donnerons ici une description. Dans la plupart des cas la couleur de la peau est noire, mais une bande de peau brune court de la mâchoire inférieure vers la gorge, le poitrail, le ventre, les mamelles, se prolongeant sur toute la longueur de l'écusson, la vulve, l'anus et sur le côté interne de la queue. Dans plusieurs cas cependant, une discontinuité dans la peau brune a lieu au niveau de la gorge, pouvant s'étendre jusqu'à mi-chemin vers le fanon. Toute la peau interne et la partie inférieure de la peau externe des oreilles sont brunes.

Des taches noires de forme caractéristique se rencontrent fréquemment sur la peau brune de l'intérieur des oreilles (raies de l'oreille) et sur la région ano-vulvaire (tache a-v).

Toute cette livrée, la disposition des taches noires sur les aires brunes comprise, présente une symétrie latérale et est absolument identique dans les groupes de vrais jumeaux, tandis que les faux jumeaux montrent souvent des différences marquées; ceci montre bien que toutes les différences observées sont d'ordre génésique.

Le rapport existant entre l'intensité du noircissement du poil due au gène B_s, la tache de l'oreille

[1] Hypostatique: facteur absent de deux qui ne sont pas allèles. Un allèle est l'un de deux (ou plusieurs) facteurs non-similaires qui se trouvent en positions correspondantes sur des chromosomes homologues.

[2] Pléiotrope: affectant plusieurs caractères.

[3] Epistatique: le facteur prévalent de deux qui ne sont pas allèles.

et la tache a-v n'est pas encore claire. Dans un lot de 108 vaches B_s, Jersey pure race ou de degré Jersey élevé, 25 n'avaient pas la raie de l'oreille tandis que la tache a-v ne manquait que sur 2 animaux. En classant les vaches sur une échelle de 1 à 14 selon leur degré de noircissement et de 0 à 7 pour la tache a-v, les résultats suivants furent obtenus:

Degré de noircissement	1	2	3	4	5	6	7–14
Nombre d'animaux	19	17	14	16	13	16	13
Taille relative moyenne de la tache a-v	2,8	3,1	3,6	3,5	3,7	4,6	4,5

Les animaux clairs ont une tendance nette à avoir des taches a-v petites, mais la relation n'est jamais parfaite. Plusieurs animaux très sombres avaient de petites taches et *vice-versa*. De même la barre de l'oreille manquait dans 42% des animaux classés 1 et 2 sur l'échelle de couleur, tandis que 16% seulement des animaux plus sombres que ceux de la classe 2 perdaient ce caractère. Cependant quelques animaux très sombres étaient aussi dépourvus de cette barre de l'oreille.

4. OREILLES NOIRES (b_e)

Les observations des couleurs de la peau et du poil des jumeaux de Ruakura nécessitent l'hypothèse d'un nouveau facteur (b_e). La disposition du pigment de la peau d'un animal b_e diffère de celle produite par le gène B_s: la peau de la mamelle, du ventre, de la poitrine et des 2/3 supérieurs de la surface interne des oreilles est brune, tandis que le reste de la peau est noir. D'un animal à un autre, cette disposition est remarquablement uniforme et les vrais jumeaux ne montrent à ce sujet aucune différence.

Le poil de la bordure interne des oreilles est généralement noir de jais (figure 2*a*) mais on pense que ceci est dû à une interaction entre les gènes b_e et B_s plutôt qu'à une action isolée du gène b_e. A Ruakura il y a actuellement deux groupes de vrais jumeaux qui montrent la disposition typique de couleur de la peau b_e, mais chez lesquels la couleur du poil du bord interne des oreilles n'est que la couleur principale en plus sombre, et non le noir habituel. Ces animaux ne doivent pas porter le gène B_s.

Dans un troupeau de 140 vaches Jersey pure race ou de haut degré Jersey, 19 montraient la livrée b_e. Les registres d'élevage de Ruakura suggèrent que les oreilles noires sont déterminées par un simple gène récessif.

5. ZÉBRURES (B_r)

Les zébrures sont constituées par des bandes irrégulières de poils noirs sur un fond roux. Le gène B_r ne peut agir qu'en présence du gène de noircissement B_s [4]. Jusqu'à ces dernières années, les variations des zébrures avaient été peu étudiées, malgré les différences marquées se produisant d'un animal à un autre. Le type le plus clair montre seulement quelques traits faibles d'un brun différent sur le mufle, tandis qu'à l'autre extrême la robe semble d'un noir de jais tant la densité des bandes noires est grande.

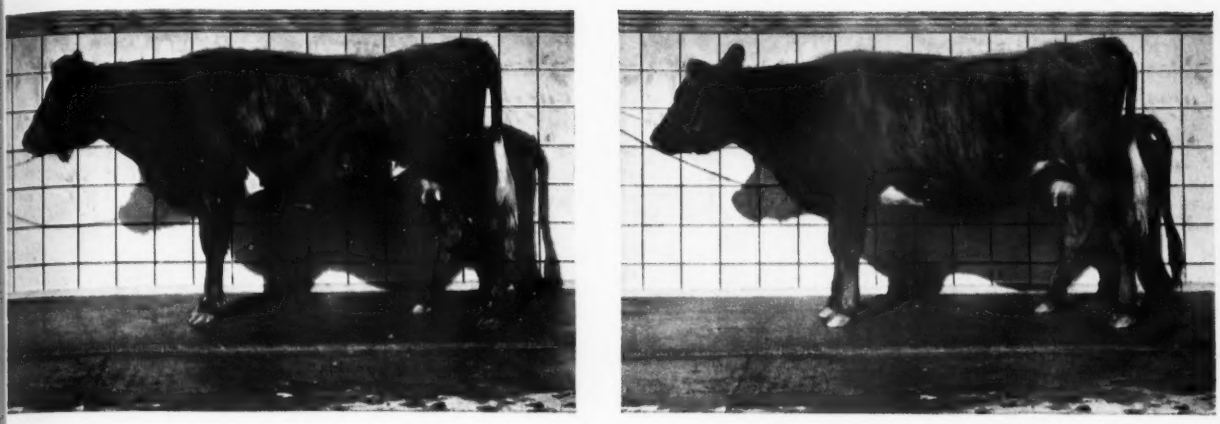
Comme dans un même animal les zébrures sont souvent différentes des deux côtés, il ne faut pas s'étonner que les jumeaux monozygotes soient souvent différents. Les trois couples de jumeaux zébrés des figures 1*a*, *b*, *c* montrent seulement une faible partie des différences génésiques entre différents groupes de jumeaux, tandis que le groupe de la figure 1*a* montre les plus grandes variations non génésiques observées à Ruakura chez des jumeaux. Pour expliquer les variations génésiques des zébrures, on doit faire intervenir un grand nombre de facteurs.

Les effets du gène B_r sur la pigmentation de la peau n'ont pas été décrits jusqu'ici. La peau d'un animal B_r est brune avec de faibles barres d'intensité variable suivant que l'animal est B_s ou b_e. La barre de l'oreille et la tache ano-vulvaire commune chez les animaux B_s sont inhibées totalement par B_r.

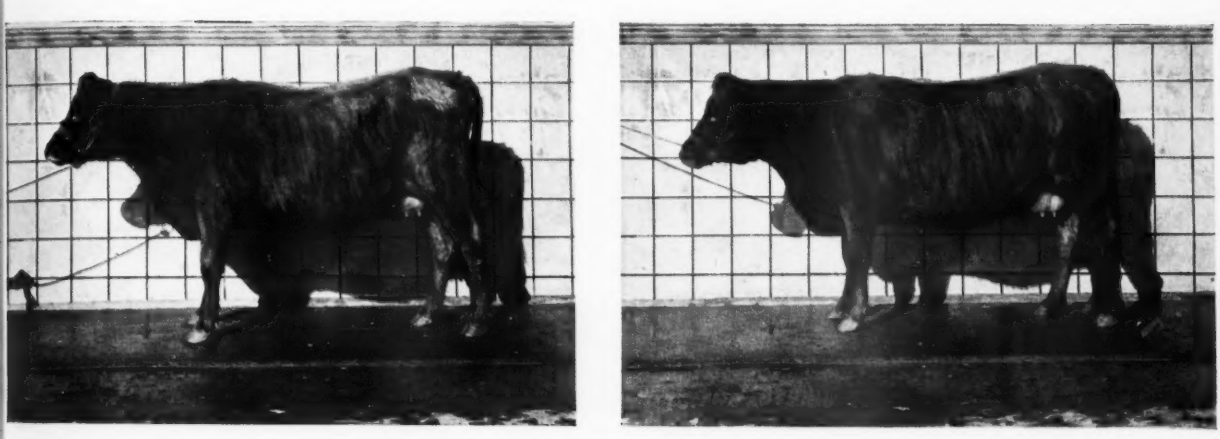
Le facteur E qui provoque la pigmentation de tout le pelage, n'est pas complètement épistatique à B_r. Un groupe de jumeaux de Ruakura, qui selon leur pedigree était hétérozygote pour E semblait d'un noir de jais, mais un examen plus poussé montrait d'incontestables zébrures. Comme leur peau était noire, l'on peut affirmer que B_r n'affecte pas la pigmentation de la peau produite par E [5].

6. MOUCHETAGE BLANC RÉCESSIF (S et s)

S donne un animal entièrement pigmenté. Son allélomorphe (s) inhibe la pigmentation de la peau et du poil dans certaines aires. Des facteurs héréditaires et non-héréditaires contribuent à l'extension de ces parties blanches, cependant l'on a montré [6] que plus de 90% des variations sont dues à des facteurs héréditaires. Les observations faites sur les jumeaux à Ruakura confirment ceci. Les différences entre jumeaux qui mesurent en somme les variations non-héréditaires ne sont en général pas plus grandes que celles qui se produisent entre les deux côtés d'un même animal



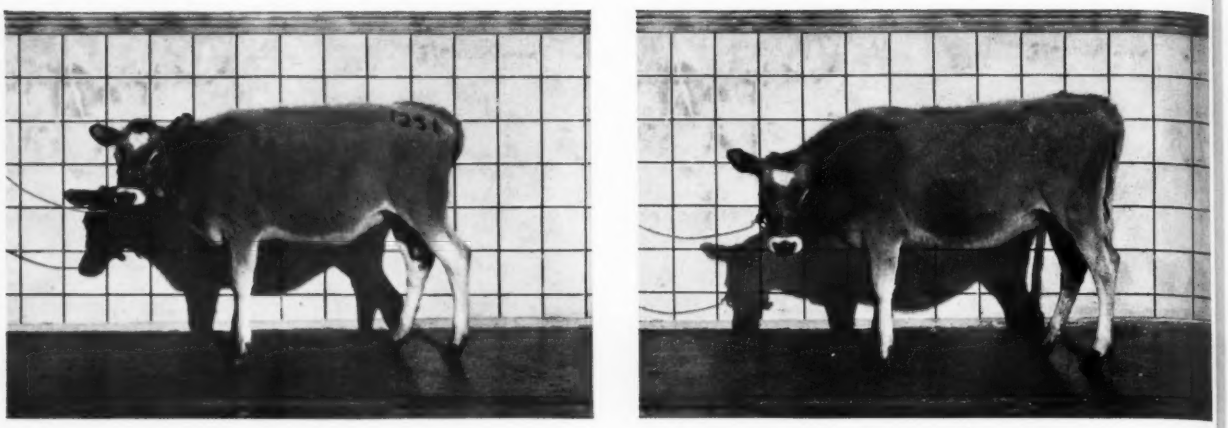
(a)



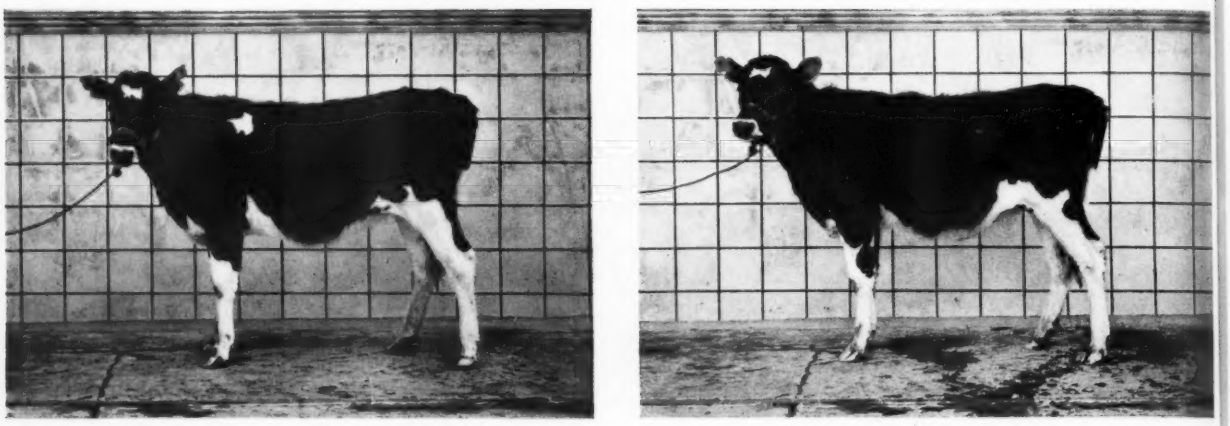
(b)

(c)

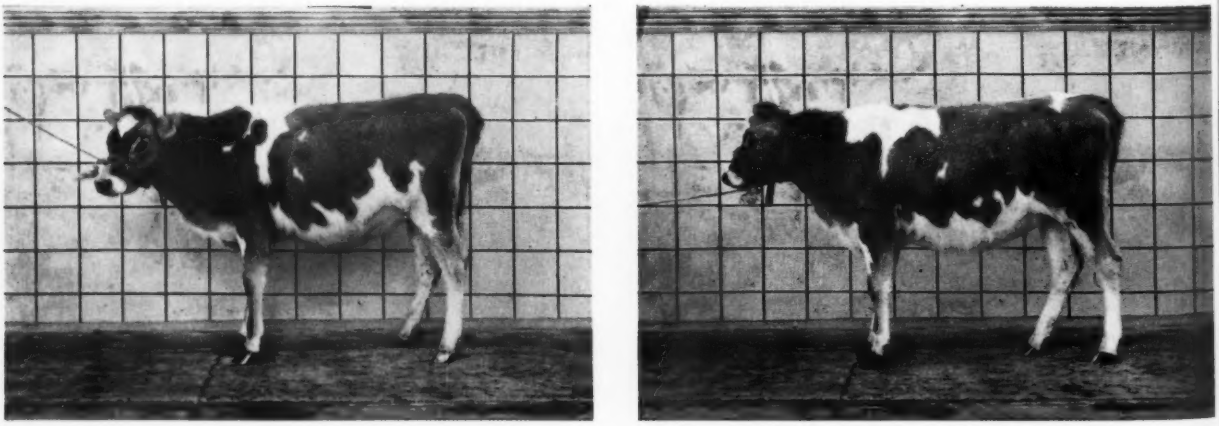
FIGURES 1*a*, *b*, *c* – *Trois groupes de jumeaux vrais zébrés.*



(a)

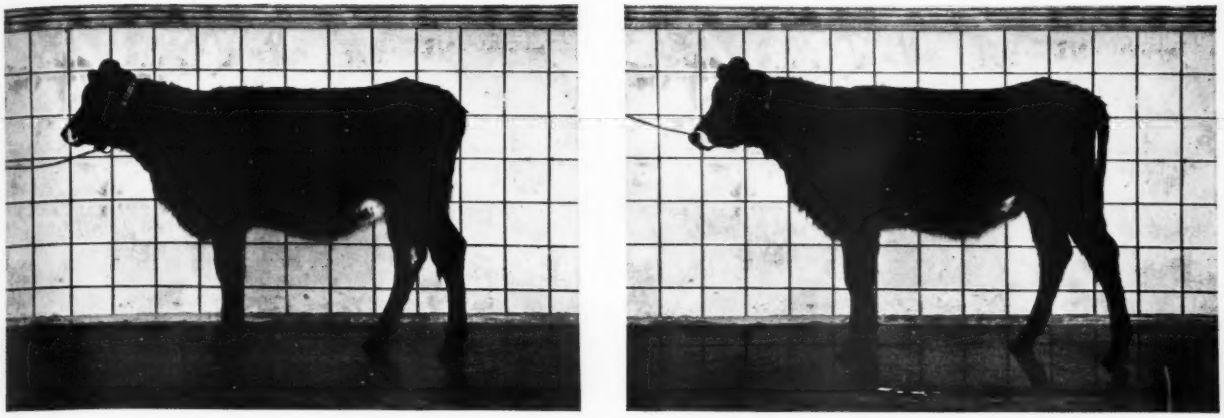


(b)

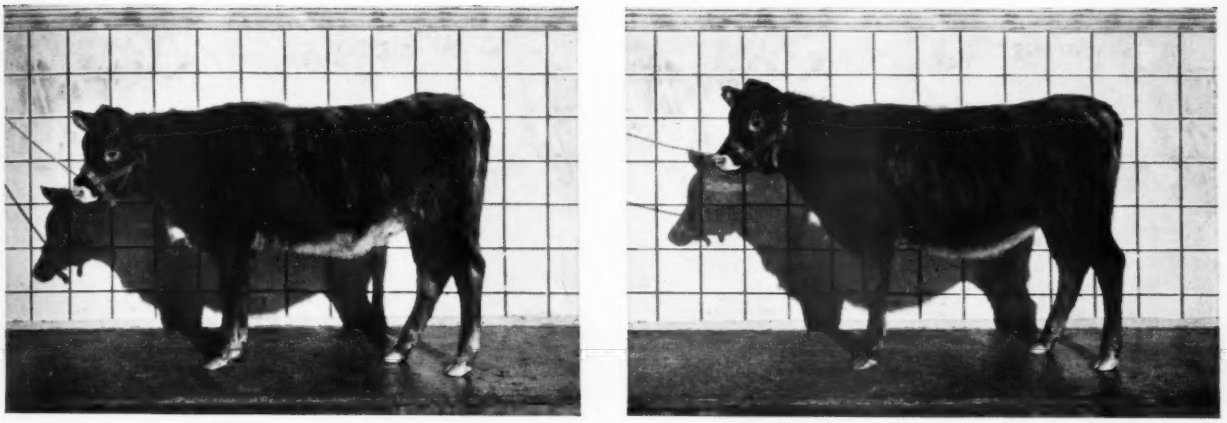


(c)

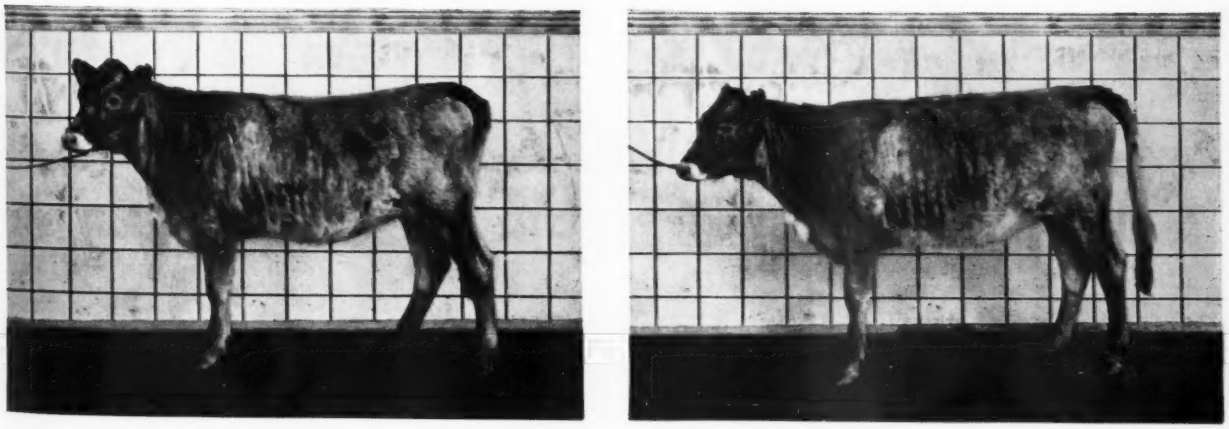
FIGURES 2*a*, *b*, *c* – *Trois groupes de vrais jumeaux, montrant des degrés variés de mouchetage blanc.*



(a)

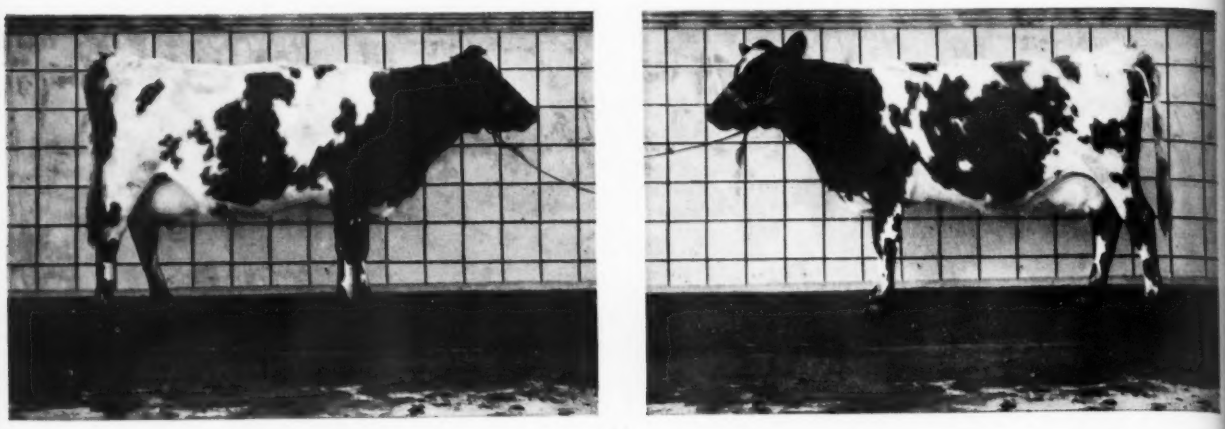


(b)

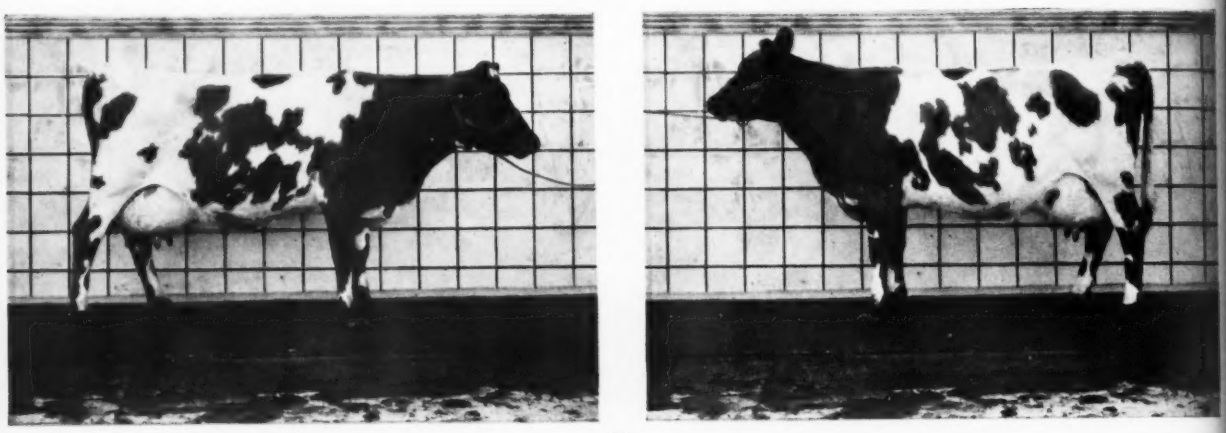


(c)

FIGURES 3*a*, *b*, *c* – *Trois groupes de jumeaux vrais, montrant différents degrés de «rouan».*



(a)



(b)

FIGURES 4*a*, *b* – *Côtés droit et gauche des membres d'un groupe de jumeaux mouchetés blanc.*

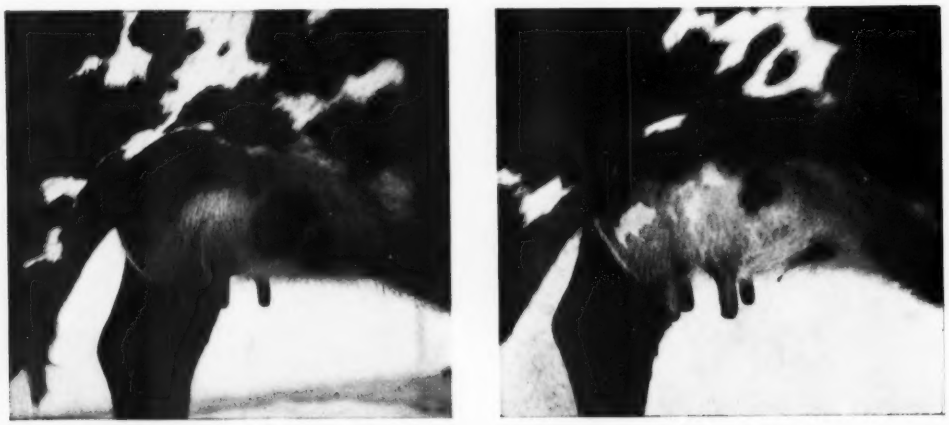


FIGURE 5 – *Les mamelles d'un groupe de jumeaux vrais montrant une grande densité de taches sur la peau.*

(figures 4*a*, 4*b*). Les différences entre groupes sont très grandes, allant d'animaux presque entièrement blancs jusqu'à ceux qui n'ont du blanc qu'au bout de la queue.

Les trois groupes de vrais jumeaux des figures 2*a*, *b*, *c* illustrent les différences entre jumeaux et entre groupes pouvant se produire dans le tiers inférieur de l'échelle de mouchetage blanc. Briquet *et al.* [6] déclarent qu'au moins quatre paires de gènes sont nécessaires pour expliquer les différences génésiques du mouchetage blanc. Ils mesuraient les effets du gène comme étant le pourcentage de blanc visible, les animaux étant vus de côté. Mais de nombreux animaux classés comme pigmentés d'un côté par cette échelle, étaient «mouchetés de blanc» au dessous.

7. ROUAN (N)

La couleur rouanne est le résultat de l'entremêlement de poils blancs et pigmentés. Le rouan est déterminé par le gène N à l'état hétérozygote (Nn). Un animal homozygote pour N est entièrement blanc sauf les poils pigmentés des oreilles [4].

On a peu étudié jusqu'ici les variations du rouan, qui vont d'une couleur claire produite par approximativement autant de poils blancs que de poils pigmentés à une couleur qui semble complète tant les poils blancs sont peu nombreux. Comme sous ce point de vue les vrais jumeaux, comparés aux faux jumeaux, montrent relativement peu de différences, on peut affirmer que les différences observées sont pour la plupart d'origine héréditaire. Les trois groupes de jumeaux des figures 3*a*, *b*, *c* en témoignent. Seuls les variants clairs ont été choisis pour l'illustration car les rouans sombres pourraient paraître de couleur complète en photographie. Ibsen [4] a postulé un facteur modifiant (rm) qui transforme un animal génésiquement rouan (Nn) en roux. Il semble nécessaire cependant de postuler l'existence de toute une série de modificateurs en vue d'expliquer toutes les différences observées entre les groupes de jumeaux étudiés.

Les observations faites sur les jumeaux indiquent que le gène N, en condition homo ou hétérozygote, n'a aucun effet sur la coloration de la peau. La couleur de la peau d'un animal Nn ou NN dépend donc du fait qu'il est en même temps noir (E), roux (R), noirâtre (B_s), oreilles noires (b_e) ou zébré (B_r). Le mouchetage blanc (ss) peut être détecté chez les animaux homozygotes pour N (et alors d'un blanc pur) par la présence de parties de peau non-pigmentées. Contrairement à ce que l'on pensait autrefois [4], NN n'est donc pas épistatique au mouchetage blanc.

Un type entièrement différent de rouan a été observé dans deux groupes de jumeaux monozygotes et aussi chez quelques autres sujets. Il se produit seulement chez les animaux mouchetés de blanc (ss) et présentant à la fois des taches de peau pigmentée sur des aires de peau non-pigmentée. Sur ces taches les poils blancs sont entremêlés avec les pigmentés, produisant ainsi un effet de rouan très localisé. Le poil des parties non couvertes de taches blanches n'est pas rouan. Comme la présence ou l'absence de ce fait est strictement concordant chez les jumeaux vrais, on peut affirmer que ce type de rouan est sous contrôle génésique.

8. MOUCHETAGE DE LA PEAU NOIR OU PIGMENTÉ (P_s)

Ce facteur n'est indiqué ici que pour bien montrer comment son expression diffère de celle d'un nouveau facteur de mouchetage de la peau décrit plus loin. P_s donne des taches noires sur des parties de peau qui sont ailleurs brunes [4]. Actuellement, il n'y a pas à Ruakura de jumeaux portant ce caractère, mais il a été signalé chez quelques vaches Jersey.

9. MOUCHETAGE DE LA PEAU BRUN ET NOIR (P_b)

Il existe un type de mouchetage de la peau qui paraît si nettement différent du génotype P_s que l'on a trouvé nécessaire de l'attribuer à un nouveau facteur (P_b). Les taches produites par ce gène P_b ne sont visibles que sur la peau qui sans lui serait non-pigmentée, c'est-à-dire, sur les parties de peau affectées par exemple d'un mouchetage blanc récessif. Les taches sont brunes ou noires selon les autres gènes présents. Chez les animaux noirs (E) toutes les taches sont noires, mais chez les animaux B_s et b_e elles sont noires ou brunes, selon qu'elles tombent sur des aires normalement noires ou brunes. Chez les animaux roux (R) ou zébrés (B_r) les taches sont respectivement brunes ou zébrées de brun.

La présence ou l'absence des taches est strictement concordante chez les jumeaux vrais. La taille, la densité et la position des taches varient d'un animal à un autre, mais comme les différences observées entre les groupes de jumeaux sont généralement plus importantes que celles existant entre jumeaux vrais, on peut affirmer que le degré aussi bien que la présence de ce type de mouchetage est sous contrôle héréditaire. Le mouchetage de type P_b est si commun dans les troupeaux de Jersey et de croisés Jersey que l'on peut penser à un gène dominant.

Dans certains cas la densité des taches est si grande que les parties de peau couvertes par les poils blancs (gène s) sont entièrement brunes ou noires au lieu d'être partiellement non-pigmentées. Les mamelles du groupe de jumeaux vrais de la figure 5 montrent un cas proche de cette condition.

10. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Nous avons tenté de montrer que la plupart des variations de la couleur de la peau et de la robe du bétail sont dues à des différences génésiques. Les gènes à effet de coloration spécifique et graduée sont assez nombreux et bien établis, mais ils ne suffisent pas, par eux-mêmes, à expliquer le nombre étonnant des différentes livrées observées. Un très grand nombre de livrées sont le produit d'interactions entre deux ou plusieurs gènes indépendants, plutôt que celui d'un seul gène.

On peut établir aisément que de très nombreuses livrées peuvent être développées spécialement chez les Jersey par la combinaison de mouchetages variés de roux, noirâtre et blanc, unis aux «oreilles noires» à la peau pigmentée et à d'autres facteurs qui n'ont pas été décrits ici. En fait, les combinaisons possibles sont si nombreuses qu'il est difficile sinon impossible de trouver dans une population donnée de Jersey, deux animaux ayant exactement la même robe. Il n'est donc pas étonnant que plus de 90% des faux jumeaux de Ruakura se distinguent dans chaque paire par les différences qu'ils montrent dans la couleur seule du poil et de la peau, même quand l'examen est fait dès la naissance alors que plusieurs caractères de coloration ne sont encore que peu développés.

En ce qui concerne l'hérédité de la couleur en général, on peut dire que l'action de plusieurs gènes de coloration du poil réside dans leur effet pléiotrope sur la pigmentation de la peau. De nombreux animaux noirâtres (B_s) ou à oreilles noires (b_e) par exemple ne peuvent se distinguer des animaux noirs (E) que par la disposition caractéristique du pigment de leur peau. De la même façon, des animaux noirâtres pourraient être pris pour roux, si la couleur du poil était le seul critère. Il y a des gènes qui diluent de telle façon la couleur rousse qu'il serait impossible dans de nombreux cas de décider si un animal est moucheté blanc sans la présence de parties de peau non-pigmentées. Par des moyens similaires, il est possible de détecter le mouchetage blanc chez les animaux à robe entièrement blanche grâce à l'action du facteur rouan (N) en condition homozygote.

Ces connaissances sont très utiles pour l'élevage d'un bétail présentant des combinaisons variées de la couleur de la peau et du pelage. Par exemple une race à poils blancs et à peau noire adaptée aux conditions tropicales peut être produite en combinant le poil blanc de Shorthorn homozygotes pour le facteur rouan avec la peau noire des Aberdeen Angus.

Une autre manière possible d'atteindre un résultat identique serait de combiner la grande densité des taches de la peau (P_b) avec le facteur de noir total (E) et rouan (N) en condition homozygote. Ce serait cependant une tâche plus difficile que l'alternative précédente.

On peut penser qu'une connaissance plus approfondie de l'hérédité des couleurs permettra d'élucider les degrés de parenté entre les races de bétail. En se basant sur la couleur de la robe, il semble par exemple que la Jersey est plus proche du Zébu (*Bos indicus*) que la Suisse brune, quoique ces deux dernières races, superficiellement au moins, ont plus de traits communs (oreilles tombantes et larges fanons).

Les observations faites à Ruakura sur les jumeaux vrais ont permis de mettre en évidence de nouveaux facteurs, b_e et P_b, affectant la couleur de la peau et de la robe du bétail. Le facteur b_e qui, uni à B_s, provoque le poil noir sur la frange interne des oreilles, est essentiellement un facteur de coloration de la peau. Le facteur P_b est un facteur de mouchetage de la peau qui produit des taches brunes et noires ou les deux selon la composition génésique de l'animal.

BIBLIOGRAPHIE

[1] LUSH, J. L. *J. Hered.*, **15**, 25, 1924.
[2] KRONACHER, C. *Z. Zücht.*, B, **25**, 327, 1932.
[3] HANCOCK, J. *N.Z. J. Sci. Tech.*, **31**, II, 1, 1949.
[4] IBSEN, H. L. *Genetics*, **18**, 441, 1933.
[5] BERGE, S. et MITLID, S. *Tidsskr. norske Landbr.*, 209, 1949.
[6] BRIQUET, R. (Jnr.) et LUSH, J. L. *J. Hered.*, **38**, 98, 1947.

Effets des radiations et des drogues radiomimétiques

E. BOYLAND

L'auteur signale l'analogie frappante que présentent les effets biologiques de certains vésicants et composés cancérigènes avec ceux des rayons X et autres radiations ionisantes; utilisation de ces effets, généralement inhibiteurs et destructifs, dans le traitement du cancer et des leucémies. Mode d'action probable des drogues radiomimétiques, notamment de l'ypérite.

Très tôt après la découverte des rayons X par Röntgen en 1895, on essaya de les appliquer au traitement des maladies et surtout du cancer. On ne reconnut pas tout d'abord les dangers de l'exposition aux rayons X, si bien qu'on eut à déplorer chez les patients des dermatites et des brûlures quelquefois même avec des cloques. Le premier cancer produit par les rayons X fut décrit par Frieben [9]. L'utilisation du radium provoque des accidents analogues.

A la suite de ces expériences malheureuses, les techniques mises au point dans l'usage des rayons X et du radium ont considérablement réduit les dangers de ce type de thérapeutique. Cependant le résultat du traitement dépend probablement de lésions spécifiques portant sur la cellule et se traduisant par une gamme étendue d'effets biologiques. Ces effets sont encore à l'étude et, au cours de ces dernières années, on a pu provoquer des modifications très analogues en utilisant certaines substances chimiques à la place des radiations ionisantes. Les effets induits sont tellement semblables à ceux produits par les radiations que Dustin a donné à ces substances le qualificatif de radiomimétiques [8]. Le tableau I énumère quelques-uns des effets produits par les substances de ce type et par les radiations.

TABLEAU I

Effets produits par les radiations ionisantes et les drogues radiomimétiques

1. Inhibition de la croissance des tumeurs ou de tout l'organisme.
2. Induction de cancers au lieu d'action.
3. Anomalies chromosomiques (figures 1–4).
4. Mutations.
5. La mort retardée avec des modifications *post mortem* similaires.
6. Erythèmes et inflammations.
7. Destruction des virus.
8. Dépolymérisation de l'acide nucléique *in vitro* (figure 7) et probablement aussi *in vivo*.
9. Destruction des globules blancs du sang, provoquant des leucopénies.
10. Réduction de la coagulabilité du sang, probablement due à une réduction du nombre des thrombocytes circulants.
11. Blanchiment local des poils (figures 5–6).
12. Inhibition du développement de l'immunité comportant la production d'anticorps en réponse à l'administration d'un antigène.
13. Destruction du complément (constituant normal du sang nécessaire à la lyse des globules rouges étrangers).
14. Inhibition des enzymes sulfhydryl, par exemple la triosephosphate déshydrogénase.
15. Cloques sur la peau.
16. Concentration sanguine par retrait d'eau du sang.
17. Nausées et vomissements analogues au mal des radiations, et des lésions de la muqueuse intestinale.
18. Hyperglycémies retardées.
19. Production d'anomalies fœtales chez les animaux en gestation.
20. Balance négative de l'azote, due, soit à un accroissement de la dégradation des protéines, soit à une diminution de la synthèse.

Au cours du XXe siècle, les rayons X et l'émission du radium sont utilisés dans des procédés techniques et scientifiques de plus en plus nombreux. Muller étudie la fréquence des mutations (modifications discontinues, permanentes et transmissibles héréditairement) chez la mouche du vinaigre *Drosophila* et trouve que l'exposition aux rayons X accroît dans une forte proportion cette fréquence. Quelques années plus tard, Muller et Painter montrent que le traitement aux rayons X provoque des modifications visibles au microscope des chromosomes dans les cellules en division. Les chromosomes des cellules préalablement irradiées montrent souvent des anomalies spécifiques telles que fragmentations, modifications de la viscosité ou liaisons anormales (voir figures 1 et 2).

De même les radiations ionisantes modifient profondément la formule sanguine de l'homme et des animaux; des doses relativement faibles de

radiations provoquent une chute du nombre des globules blancs et particulièrement des lymphocytes.

L'effet vésicant de l'ypérite, di-β-chloroéthyl sulfure, a été décrit au XIXe siècle [16] et cette substance fut largement utilisée au cours de la première guerre mondiale en 1917 et 1918. Pendant la dernière guerre, on a étudié d'autres vésicants tels que les ypérites azotées (particulièrement la méthyl di-β-chloroéthyl amine, en code HN2, et la tri-β-chloroéthyl amine, en code HN3). On observa fréquemment leur propriété de réduire le nombre de globules blancs (action leucopénique) et l'ypérite azotée fut donc essayée dans le traitement clinique des leucémies et des maladies des glandes lymphatiques. L'action leucopénique de l'ypérite azotée est analogue à celle de l'irradiation. Parmi les autres effets radiomimétiques de l'ypérite et de l'ypérite azotée on peut citer l'accroissement des mutations chez la Drosophile [1] et l'induction d'anomalies spécifiques des chromosomes [6] (voir figure 3). Les anomalies chromosomiques produites par l'ypérite ressemblent à celles qui sont dues aux rayons X non seulement dans leur aspect mais aussi quant aux délais que demandent les différents types d'anomalies pour se manifester.

L'ypérite et l'ypérite azotée, comme les radiations, sont cancérigènes et produisent des tumeurs chez les animaux [4, 13]. Leur description comme anticancérigènes n'est qu'un paradoxe apparent, en effet beaucoup d'agents utilisés contre le cancer sont aussi cancérigènes.

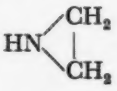
Les ypérites ne constituent qu'une faible partie des agents chimiques cancérigènes connus. Les hydrocarbures cancérigènes tirés des goudrons de houille inhibent la croissance des cancers et des tissus normaux, comme l'a montré Haddow. Divers composés aromatiques cancérigènes inhibent la croissance des tissus normaux et tumoraux, provoquent des mutations chez la Drosophile [7] et des anomalies chromosomiques spécifiques [14]. Ainsi certains composés cancérigènes aromatiques induisent des modifications spécifiques et limitées des chromosomes. Une application intéressante de ces propriétés est constituée par l'usage du plus puissant des hydrocarbures cancérigènes le 9:10-diméthyl-1:2-benzanthracène dans le traitement clinique des leucémies.

Le blanchiment des poils (figures 5 et 6) est un des effets radiomimétiques les plus faciles à mettre en évidence. Chez la souris, il a été constaté après irradiation X [12], après application d'ypérite azotée [3], et après implantation de plutonium [15]. Cette modification paraît permanente; en effet, les souris injectées à l'ypérite azotée ont conservé leurs taches blanches près de trois ans après le traitement. Si cette modification est discontinue et permanente elle peut constituer une «mutation somatique» analogue à celle que l'on a suggérée pour la transformation des cellules normales en cellules cancéreuses. La nature de cette modification n'a pas encore été complètement étudiée histologiquement.

L'action des rayons X dépend peut-être de radicaux hydroxyl libérés dans le milieu à partir de l'eau. S'il en est ainsi on doit reproduire les mêmes effets en libérant des radicaux hydroxyl par un autre moyen, l'addition, par exemple, d'un agent réducteur comme le sulfate ferreux à de l'eau oxygénée. En fait, l'injection d'eau oxygénée et de sulfate ferreux (réactif de Fenton) produit l'effet typique de blanchiment des poils chez la souris colorée.

Les radiations et les drogues radiomimétiques induisent beaucoup d'autres effets (voir tableau 1), mais chacun des agents ne produit pas tous les effets. Ainsi les hydrocarbures cancérigènes et les substances voisines ne sont pas vésicants, ne causent pas le blanchiment des poils et ne peuvent prendre part aux réactions où la solubilité dans l'eau est nécessaire. Les seuls effets salutaires sont l'inhibition de la croissance des tumeurs et le traitement des leucémies et maladies analogues, points sur lesquels ont porté de nombreuses recherches.

L'ypérite azotée simple HN2 ou méthyl di-β-chloroéthyl amine a été largement utilisée pour le traitement de la maladie de Hodgkin. Son emploi est efficace mais très toxique, il doit se faire par injection intra-veineuse et provoque des nausées. On a essayé de nombreuses chloroéthyl amines aromatiques [11], et de nombreux composés aliphatiques. Le plus satisfaisant des composés aromatiques est la di-β-chloroéthyl β-naphthylamine, substance qui a donné lieu à nombreux essais pour le traitement de la maladie de Hodgkin. Elle peut s'administrer par la bouche et ne produit ni nausées ni vomissements. Les plus intéressants des composés aliphatiques sont les tétra-β-chloroéthyl diamines. L'ensemble du travail semble indiquer que les substances actives contiennent, au moins, deux centres chimiques réactifs, mais récemment on a découvert quelque activité à des composés monofonctionnels tels que l'éthylène imine



[2].

F
m
ce

F
a
c
p

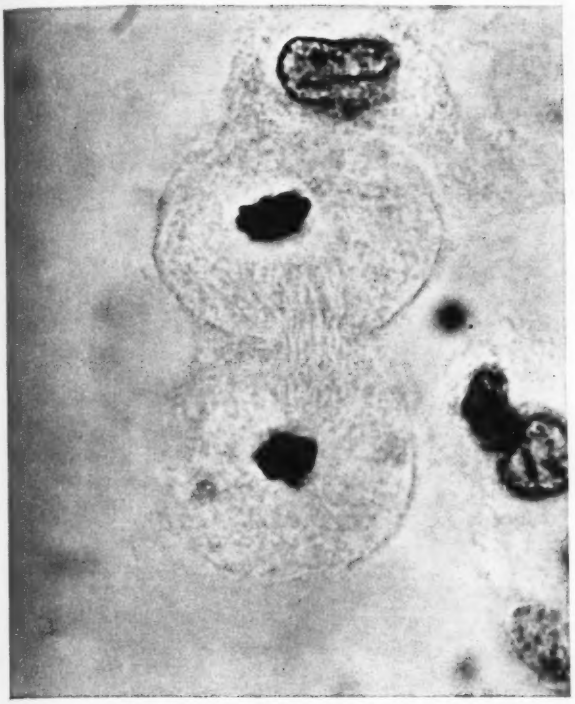


FIGURE 1 – *Photomicrographie de cellules en division d'une tumeur normale (cancer de Walker du rat) montrant la fin de la division cellulaire avec deux noyaux fils contenant des chromosomes coalescents.*

FIGURE 2 – *Cellules en division d'un cancer de Walker 24 heures après irradiation par rayons X (300 r); les deux garnitures de chromosomes fils montrent des liaisons qui empêchent la séparation des noyaux et des portions clivées de chromosomes.*

FIGURE 3 – *Cellules en division d'un cancer de Walker 24 heures après traitement du rat par l'ypérite azotée (1 mg de méthyl di-β-chloroéthyl amine par kg d'animal), anomalies similaires à celles produites par les rayons X (figure 2).*

FIGURE 4 – *Cellules en division d'un cancer de Walker d'un rat 24 heures après traitement avec 1 g d'uréthane par kg d'animal. Des fragments de chromosomes sont visibles entre les deux noyaux.*

[*Les figures 1–4 (× 2100) sont dues au Dr P. C. Koller du Chester Beatty Research Institute.*]

FIGURE 5 – *Souris noire 4 semaines après irradiation d'une partie de la peau aux rayons X (1000 r). L'aire irradiée est dépigmentée de façon permanente bien que la croissance des poils continue.*

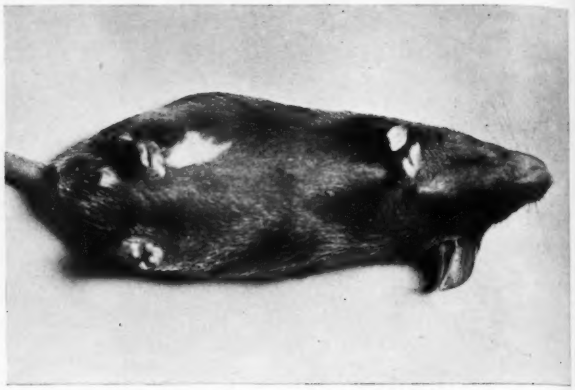
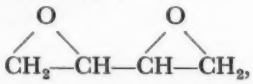


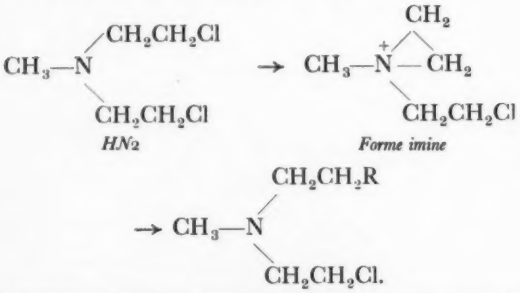
FIGURE 6 – *Souris noire 4 semaines après injection intradermique de 0,001 mg d'ypérite azotée.*

La nécessité apparente de deux groupements réactifs a conduit à suggérer [10] que ces substances agissent comme agents de cross-linking[1] vis-à-vis des chromosomes. Les liaisons formées interviendraient lors de la division des chromosomes en donnant des anomalies. Pour vérifier cette hypothèse on a essayé de nombreux agents de cross-linking parmi lesquels les diépoxydes tels que le butadiène diépoxyde



et on a constaté que cette substance inhibe les croissances tumorales, fragmente les chromosomes et induit des cancers. Ceci offre peu d'intérêt pour le traitement clinique des maladies mais indique que d'autres radicaux actifs pouvant subir l'alkylation peuvent remplacer les radicaux chloroéthyl des dérivés de l'ypérite.

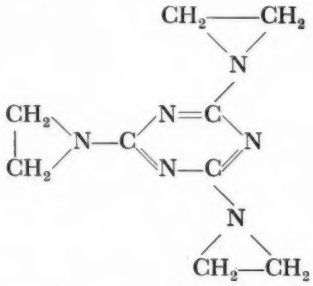
Les ypérites azotées aliphatiques réagissent probablement grâce à la formation intermédiaire d'un cycle imine éthylène, par exemple



HN2 *Forme imine*

[1] Le cross-linking est la liaison entre portions de chromosomes différents.

Le fait que les ypérites azotées agissent comme les éthylène imines et peut-être comme agents de cross-linking fait penser à l'activité possible d'une triazine triéthylène imine:



décrite comme agent assurant l'adhérence des fibres de laine les unes aux autres par la Hoechst *Farbewerke*. On a essayé cette substance indépendamment à Londres, Manchester et New-York; elle s'est montrée très active, d'où son utilisation actuelle dans le traitement des lymphadénopathies. On peut l'administrer par la bouche et elle ne provoque pas de nausées. Elle a toutefois le désavantage de provoquer une plus grande chute d'hémoglobine que l'ypérite azotée.

Pour certains effets on peut calculer les doses de composés et de radiations donnant des résultats équivalents. En général une dose de 0,2 mg d'ypérite azotée (HN2) par kg d'animal, c'est-à-dire 0,2 mg par litre, soit un millionième molaire ($M \times 10^{-6}$) est équivalente à une irradiation de 100 r de rayons X. L'uréthane produit certains des effets de l'ypérite azotée (voir figure 4), mais celle-ci est environ 10 000 fois plus active que l'uréthane pour la production des ruptures de chromosomes

dans les tumeurs expérimentales du rat. Il est possible que l'action des rayons X soit due à la décomposition de l'eau libérant des radicaux hydroxyl à l'intérieur des cellules. Une exposition de 100r pourrait produire une concentration d'environ $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ M radicaux hydroxyl libres. Ainsi on obtient des résultats équivalents avec $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ M radicaux hydroxyl libres (ou autres produits de l'irradiation) et $1 \cdot 10^{-6}$ M d'ypérite azotée (HN_2). Les produits de l'irradiation doivent donc être trois fois plus actifs que l'ypérite azotée. Vu la nature des calculs, l'incertitude du mode d'action des deux types d'agents et le fait que l'irradiation produit de fortes concentrations locales de radicaux hydroxyl, on peut considérer que les corps résultant de l'action des rayons X et de l'ypérite azotée ont une activité du même ordre, si l'on fait la comparaison sur la base moléculaire.

Les agents cytotoxiques radiomimétiques peuvent agir par cross-linking à l'intérieur des cellules, mais on possède certains arguments en faveur d'un mode d'action différent. Butler et Smith [5] ont étudié l'action de l'ypérite azotée et d'autres agents sur l'acide thymonucléique. Les composés actifs provoquent une dépolymérisation (ou rupture de la molécule) retardée semblable à celle des rayons X [17]. Une semblable dépolymerisation de l'acide nucléique, qui peut être suivie de la chute de la viscosité de la solution, se produit lors de la libération de radicaux hydroxyl dans une solution d'acide nucléique. L'activité de l'ypérite azotée et des rayons X dans cette dépolymérisation suit les mêmes lois que pour les

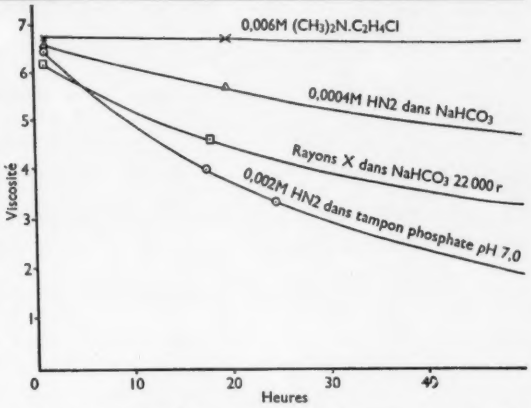


FIGURE 7 – *Courbes montrant la chute lente de la viscosité des solutions d'acides nucléiques exposées aux rayons X ou traitées à l'ypérite azotée. La chute de la viscosité est due à la rupture des structures moléculaires de l'acide nucléique. (D'après le Dr J. A. V. Butler.)*

effets biologiques: $M \cdot 10^{-6}$ méthyl-di-β-chloroéthyl amine produit la même dépolymerisation que 100 r de rayons X.

On peut donc supposer que l'ypérite azotée, comme les rayons X, agit en dépolymérisant l'acide nucléique ou d'autres constituants cellulaires aussi bien que par cross-linking, les deux mécanismes pouvant jouer à la fois. L'activité plus grande des composés bi-fonctionnels peut être due au fait qu'après réaction d'un radical avec un constituant cellulaire le second groupe actif puisse libérer un radical libre. Ce radical libéré à l'intérieur d'un tissu y produirait des décompositions.

BIBLIOGRAPHIE

[1] AUERBACH, C., ROBSON, J. M. et CARR, J. G. *Science*, **105**, 243, 1947.

[2] BIESELE, J. J., PHILIP, F. S., THIERSCH, J. B., BURCHENAL, J. H., BUCKLEY, S. M. et STOCK, C. C. *Nature*, **166**, 1112, 1950.

[3] BOYLAND, E., CLEGG, J. W., KOLLER, P. C., RHODEN, E. et WARWICK, O. H. *Brit. J. Cancer*, **2**, 17, 1948.

[4] BOYLAND, E. et HORNING, E. S. *Ibid.*, **3**, 118, 1949.

[5] BUTLER, J. A. V. et SMITH, K. A. *Nature*, **165**, 714, 1950.

[6] DARLINGTON, C. D. et KOLLER, P. C. *Heredity*, **1**, 187, 1947.

[7] DEMEREC, M. *Brit. J. Cancer*, **2**, 114, 1948.

[8] DUSTIN, P. *Nature*, **159**, 794, 1947.

[9] FRIEBEN. *Fortschr. Röntgenstr.*, **6**, 106, 1902.

[10] GOLDACRE, R. J., LOVELESS, A. et ROSS, W. C. J. *Nature*, **163**, 667, 1949.

[11] HADDOW, A., KON, G. A. R. et ROSS, W. C. J. *Ibid.*, **162**, 824, 1948.

[12] HANCE, R. T. et MURPHY, J. B. *J. Exp. Med.*, **41**, 339, 1926.

[13] HESTON, W. E. *J. Nat. Cancer Inst.*, **10**, 125, 1949.

[14] KOLLER, P. C. Communication personnelle.

[15] LISCO, H., FINKEL, M. P. et BRUES, A. M. *Radiology*, **49**, 361, 1947.

[16] MEYER, V. *Ber. dtsch. chem. Ges.*, **20**, 1729, 1887.

[17] TAYLOR, B., GREENSTEIN, J. P. et HOLLAENDER, A. *Cold Spr. Harb. Symp. Quan. Biol.*, **12**, 237, 1947.

Le caoutchouc naturel

L. R. G. TRELOAR

Le caoutchouc naturel doit ses propriétés élastiques et thermo-dynamiques à sa structure moléculaire à longue chaîne. Etude de la résilience et du comportement du caoutchouc brut à des températures soit très hautes soit très basses. Quelques remarques sur le caractère fibreux, et la biréfringence, et sur la vulcanisation.

L'industrie caoutchoutière est plus jeune que la plupart de nos industries principales. Thomas Hancock (1786–1865) inventa un procédé permettant la manipulation mécanique du caoutchouc, et plus tard il devint un associé de la firme Macintosh. Avant le début du siècle dernier on entendait à peine parler du caoutchouc, mais au cours du XIXe siècle les applications se multiplièrent progressivement, et en 1910 la production de caoutchouc sauvage — en provenance du Brésil surtout — s'élevait à 81 000 tonnes par an. Les plantations commencées en 1876 sous les auspices du gouvernement britannique avec de jeunes plants de *Hevea brasiliensis* cultivés au Jardin Botanique de Kew devaient finalement surpasser et même éliminer le produit indigène et former la base de l'économie de la Malaisie britannique et des Indes néerlandaises (figure 1).

Les recherches systématiques concernant le caoutchouc sont de notre époque mais au cours du siècle dernier le caoutchouc avait fait l'objet d'études isolées et attiré l'attention de certains de nos savants les plus compétents. La plus saillante de ces études est contenue dans un mémoire que Faraday lut devant la *Royal Institution* le 3 février 1826 [3]. Selon le compte rendu [4] «Mr. Faraday décrivit la nature du caoutchouc et donna les résultats d'une analyse de la sève inaltérée». Dans ce mémoire Faraday démontra que le caoutchouc, qui se trouve dans le latex à l'état de fines particules en suspension, peut être séparé des constituants étrangers au moyen de dilutions et d'écrémages successifs. L'analyse chimique indiqua que le caoutchouc purifié n'est composé que de carbone et d'hydrogène: 87,2% de carbone et 12,8% d'hydrogène.

Nous savons maintenant que la formule de l'hydrocarbure pur du caoutchouc est $(C_5H_8)_n$, ce qui correspond à 88,15% de carbone et 11,85% d'hydrogène. L'analyse de Faraday n'est pas la première en date, mais c'est la plus précise. Le fait qu'il est arrivé si près du résultat exact est une preuve suffisante du soin méticuleux dont tout son travail est imprégné.

Plus d'un siècle devait s'écouler avant qu'on ne parvînt à établir parfaitement la constitution chimique du caoutchouc. On sait à présent que le poids moléculaire est très élevé — beaucoup plus élevé qu'on ne l'avait cru précédemment — et que la molécule se compose de quelque 5000 unités d'isoprène (C_5H_8), le constituant de base, et que le poids moléculaire moyen est de 350 000 (figure 2). Fait encore plus remarquable, les unités d'isoprène sont reliées bout à bout en formant une chaîne unique. On peut se faire une idée de la longueur de cette énorme chaîne en imaginant un modèle dans lequel il y aurait un atome de carbone tous les 10 cm; la longueur totale de cette chaîne serait d'environ 1,5 km. Staudinger a joué un rôle considérable dans l'établissement de l'existence de ce genre de molécules en longue chaîne; il leur donna le nom de macromolécules qui est entré dans l'usage courant.

MOLÉCULES ÉLASTIQUES

L'élasticité du caoutchouc est intimement liée à sa structure moléculaire en longue chaîne. C'est K. H. Meyer qui le comprit le premier. Frappé par la ressemblance entre la structure du caoutchouc et celle de substances plus ou moins élastiques comme la gélatine, le collagène (le constituant des tendons), la protéine des muscles, la soie et certains composés inorganiques synthétiques, il comprit que les vibrations thermiques normales et les rotations des atomes constitutifs de la chaîne moléculaire doivent l'amener à prendre une forme tortillée de façon irrégulière et continuellement variable. Il vit aussi qu'une molécule de ce genre doit être élastique, car si, après allongement complet, on la relâche, elle reprendra rapidement une des configurations tortillées les plus probables du point de vue statistique.

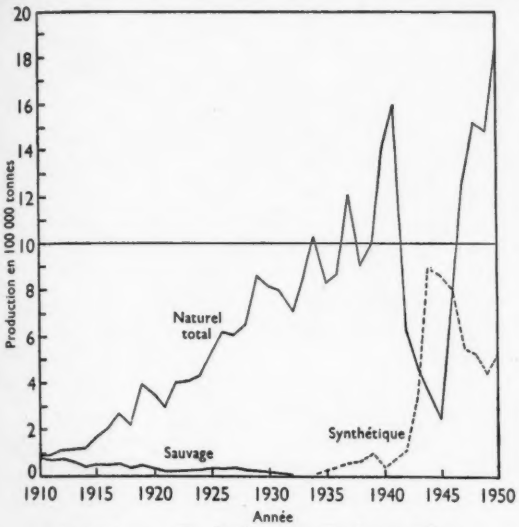


FIGURE 1 – *Production annuelle du caoutchouc.*

J'ai essayé d'illustrer la forme d'une molécule à longue chaîne telle qu'elle apparaîtrait en solution diluée, par exemple; la figure 3 est la photographie d'un vrai modèle qui représente la plus simple structure du genre, la molécule de paraffine ou de polyéthylène $(CH_2)_n$. C'est une chaîne d'atomes de carbone unis par de simples liaisons de telle sorte que l'angle entre deux liaisons successives est de 109,5°. Il y a 1000 liaisons dans ce modèle; si nous imaginons une molécule construite de cette manière, mais comportant vingt fois plus d'atomes de carbone, nous aurons une idée de la complexité de la forme de la chaîne moyenne du caoutchouc.

On peut arriver à d'importantes conclusions par l'application de la thermodynamique à la théorie statistique ou cinétique de Meyer sur l'élasticité. Deux d'entre elles ont une signification historique particulière. On peut montrer, d'une part, que le caoutchouc doit dégager de la chaleur de façon réversible quand on l'étend, et, d'autre part, que la tension d'un morceau de caoutchouc étiré doit augmenter quand on élève la température ou, alternativement, que la longueur doit diminuer si la charge reste constante. Gough démontra ces deux phénomènes en 1805, et Joule les confirma en 1859. La figure 4 montre les données de Joule pour la chaleur d'extension du caoutchouc vulcanisé, tandis que la figure 5 exprime le rapport observé par Meyer et Ferri entre la tension et la température. Ces effets sont très appréciables et se démontrent aisément. Lord Kelvin, qui collabora avec Joule, prouva que les effets Gough-Joule sont reliés entre eux du point de vue thermodynamique, l'un étant la conséquence de l'autre.

L'interprétation physique de ces effets est simple: puisque la tension élastique provient du mouvement thermique des atomes des chaînes moléculaires, une élévation de la température, en augmentant l'énergie cinétique des atomes, entraîne automatiquement un accroissement de la tension élastique. D'autre part, lorsqu'un morceau de caoutchouc est étiré à température constante, l'énergie cinétique moyenne (qui ne dépend que de la température) ne change pas et le travail effectué sur le caoutchouc se transforme donc en chaleur. Ces deux effets correspondent donc rigoureusement aux phénomènes qu'on observe lorsqu'on comprime des gaz. Suivant les lois bien connues des gaz, la pression à volume constant est proportionnelle à la température absolue, et un accroissement de la pression (avec diminution du volume) s'accompagne d'un dégagement de chaleur. L'élasticité du caoutchouc tout comme celle des gaz provient de la même cause fondamentale, le mouvement thermique désordonné.

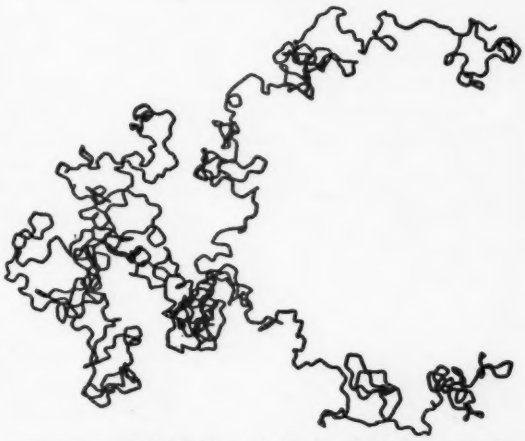


FIGURE 3 – *Modèle d'une chaîne de polyéthylène comportant 1000 chaînons.*

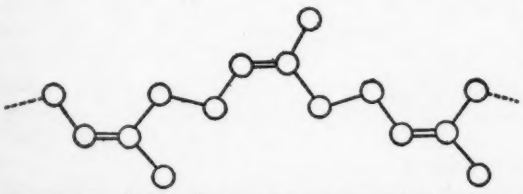


FIGURE 2 – *Section d'une molécule de caoutchouc montrant trois unités d'isoprène. (Les atomes d'hydrogène ont été omis.)*

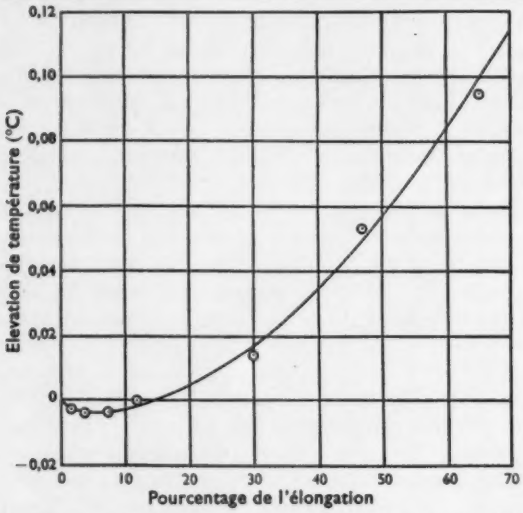


FIGURE 4 – *Changement de la température lors de l'extension rapide du caoutchouc vulcanisé.* (*Joule*, 1859.)

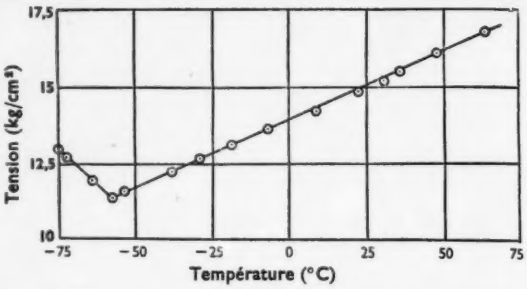


FIGURE 5 – *La tension en fonction de la température. Caoutchouc vulcanisé, extension de* 350%. (*Meyer et Ferri*, 1935.)

CHANGEMENTS D'ÉTAT

La figure 5 montre que la relation prévue entre la tension et la température ne s'applique pas aux basses températures, soit au-dessous de — 60° dans le cas du caoutchouc vulcanisé. La raison en est que les fluctuations thermiques désordonnées dont dépend l'élasticité ne peuvent plus avoir lieu à ces basses températures parce que l'énergie cinétique est trop faible pour surmonter l'attraction électrique qui s'exerce entre chaînes voisines. Le caoutchouc perd donc ses propriétés caractéristiques et devient dur et cassant comme le verre, ainsi qu'on le voit aisément quand on plonge un morceau de caoutchouc dans l'air liquide.

On peut encore supprimer ou modifier les propriétés élastiques du caoutchouc autrement qu'en congelant la structure désordonnée momentanée des chaînes. Ainsi le caoutchouc se cristallise lentement si on le maintient aux environs de 0° (ou au-dessous) pendant assez longtemps. Il faut parfois plusieurs semaines pour que la cristallisation soit complète: le caoutchouc durcit très fort et devient beaucoup moins extensible mais il n'est pas cassant.

Au cours de la cristallisation, des segments voisins de molécules à longue chaîne s'alignent localement en assumant une structure régulière ou fenestrée. L'examen aux rayons X révèle la présence de cristallites: alors que le caoutchouc amorphe, tout comme un liquide, donne des halos flous de diffraction et de larges anneaux, le spectre du caoutchouc cristallisé, au contraire, présente des anneaux nets comme ceux d'une poudre cristalline, se détachant sur le fond diffus du caoutchouc amorphe. La seule interprétation possible de ce spectre est que le caoutchouc contient des cristallites mais que la cristallisation est incomplète; on peut donc le considérer comme un mélange intime de constituants amorphes et cristallins. Cet état est représenté par le diagramme de la figure 6(*a*). D'autre part, une chaîne quelconque peut traverser successivement plusieurs domaines cristallins et amorphes; en effet, les molécules sont beaucoup plus longues que les cristallites et elles sont tellement enchevêtrées qu'elles ne parviennent pas à se séparer individuellement.

En raison des liens moléculaires continus qui unissent les constituants cristallins et amorphes du caoutchouc, le point de fusion des cristallites dépend des conditions de la cristallisation et n'est pas très précis: il est toujours à quelques degrés au-dessus de la température à laquelle on a effectué la cristallisation. Les états amorphe et cristallin du caoutchouc peuvent donc coexister pendant une durée indéterminée.

PROPRIÉTÉS FIBREUSES

On peut cristalliser le caoutchouc non seulement par la congélation, mais aussi en l'étirant. Ce genre de cristallisation orientée modifie les propriétés physiques de façon remarquable, surtout dans le cas du caoutchouc non vulcanisé. Les cristaux ainsi produits s'alignent dans le sens de l'extension (figure 6(*b*)) et rendent l'extension permanente, même si la traction ne s'applique plus. Par contre, si l'on élève la température, les cristaux fondent et le caoutchouc reprend aussitôt ses dimensions normales.

Le caoutchouc cristallin étiré a les propriétés caractéristiques d'une fibre: sa résistance est forte

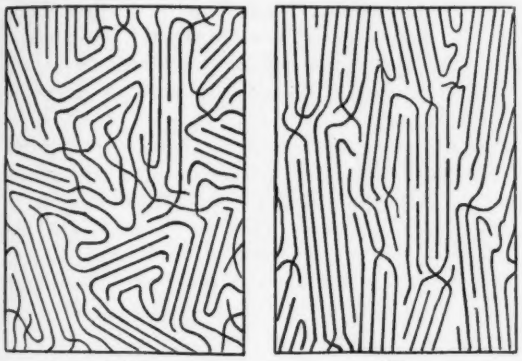


FIGURE 6 – *Représentation de la structure moléculaire du caoutchouc cristallin.* (a) *non-étiré;* (b) *étiré.*

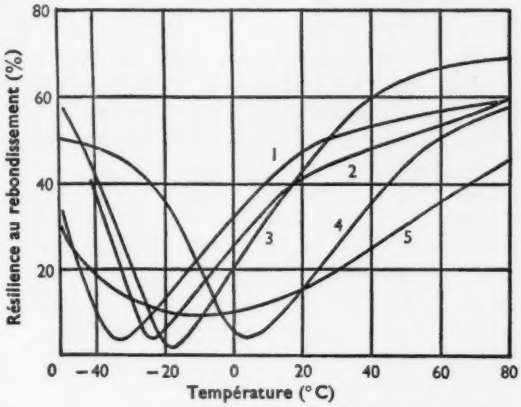


FIGURE 7 – *Résilience de divers caoutchoucs en fonction de la température.* (*Mullins*, 1947.) 1. *Naturel.* 2. *GR–S* (*butadiène-styrène*). 3. *Néoprène* (*polychloroprène*). 4. *Hycar OR* 15 (*butadiène acrilonitrile*). 5. *Butyle.*

dans le sens de la longueur mais faible à travers la section. Cette observation fut faite en 1924 par Hock qui martela du caoutchouc brut étiré et congelé par l'air liquide; en éclatant le caoutchouc se fendilla, comme du bois. Hock cita cette expérience pour prouver que le caoutchouc se cristallise quand on l'étire; sa théorie fut confirmée définitivement l'année suivante par Katz qui fournit la preuve directe de l'état cristallin de ce caoutchouc en l'examinant aux rayons X.

Quand on examine la force de résistance à la tension d'une série de matériaux (tableau suivant), on perçoit clairement le rapport étroit qui existe entre l'état cristallin et les propriétés fibreuses.

Résistance à la tension (*calculée d'après la section au point de rupture*)

Matériau	*Résistance à la rupture* (*kg/cm²*)
Acier (corde à piano)	20 470
Lin	8 980
Nylon..	6 920
Coton, soie	5 980
Caoutchouc (naturel)	3 460
Rayonne (viscose)	2 990
Laine	2 050
Verre (à vitres)	2 050
'Caoutchouc synthétique' (GR–S) ..	315

On sait que les fibres les plus résistantes (lin, coton, nylon) sont cristallines à un haut degré. D'après Hermans [5] la viscose rayonne (cellulose régénérée) est moins cristalline que la cellulose naturelle. Le caoutchouc naturel est bien plus résistant que le verre, mais le caoutchouc synthétique (GR–S), qui ne se cristallise pas, est très faible; on peut cependant le renforcer par des traitements appropriés.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES

Le caoutchouc devient biréfringent lorsqu'on l'étire, et la double réfraction augmente avec la cristallisation ainsi qu'on peut le démontrer en étirant une mince lamelle de caoutchouc entre deux nicols croisés. Au début on observe la biréfringence normale due à la tension, mais lorsque l'extension est d'environ 250% la cristallisation s'amorce et la double réfraction augmente nettement. On observe des différences très frappantes lorsqu'on soumet à la tension un polymère amorphe (par exemple du chlorure de polyvinyle), un polymère cristallisable (par exemple du caoutchouc naturel) et un polymère parfaitement cristallin (par exemple du polythène).

RÉSILIENCE

La résilience du caoutchouc ou sa tendance à rebondir est une des propriétés les plus courantes, encore que les «caoutchoucs» ne la possèdent pas tous au même point. Par exemple, si l'on soumet le caoutchouc butyle à des efforts lents son élasticité est modérée, mais elle est faible si la déformation est rapide, et une balle de caoutchouc butyle rebondit à peine en frappant le sol (figure 7); toutefois quand on en porte la température à 100° la résilience se rapproche de celle du caoutchouc naturel.

La résilience tombe très bas d'abord quand on refroidit un caoutchouc quelconque, mais elle s'accroît de nouveau si l'on continue à abaisser la température. Ce phénomène est lié au changement de configuration qui accompagne la déformation. En effet, si le rajustement des chaînes est ralenti par le froid au point d'occuper une durée (de l'ordre du millième de seconde) comparable à celle de la déformation, la réaction est faible et l'énergie se perd par la viscosité interne. D'autre part, si l'on abaisse suffisamment la température, le caoutchouc se congèle, il devient dur comme du verre et sa résilience provient alors d'un autre genre d'élasticité semblable à celle d'un verre ou d'un cristal; le caoutchouc ne manifeste donc plus cette grande tendance à la déformation qui le caractérise.

VULCANISATION

La perte des propriétés élastiques du caoutchouc par la cristallisation — surtout dans les pays froids — constituait un gros ennui pour l'industrie à ses débuts; un inconvénient plus grave encore était l'adhésivité ou la fluidité provoquée par la chaleur. Ce phénomène était plus marqué aux Etats-Unis que dans la Grande Bretagne et il était si gênant qu'il faillit bien discréditer l'industrie tout entière.

Le ramollissement du caoutchouc est dû à deux causes. En premier lieu le caoutchouc est essentiellement un liquide très visqueux: les molécules peuvent bien se mouvoir librement les unes par rapport aux autres, mais ces déplacements relatifs sont fort lents parce que les chaînes sont très longues et très enchevêtrées. Quand on élève la température, par contre, la diffusion moléculaire augmente et la viscosité diminue proportionnellement, entraînant ainsi une réduction de la résistance à l'effort et une tendance à la déformation plastique, bien que les propriétés du caoutchouc n'en soient pas, pour autant, modifiées de façon permanente.

Le ramollissement du caoutchouc — et notamment son adhésivité caractéristique — est dû en second lieu à l'oxydation, qui augmente avec la température et s'accentue par l'exposition à la lumière. L'oxydation rompt les longues chaînes moléculaires en des segments plus courts; en même temps la viscosité diminue rapidement et c'est pourquoi cet effet est si néfaste. Contrairement au ramollissement purement thermique, la dégradation chimique est un processus irréversible et elle supprime définitivement les propriétés élastiques.

L'élimination de cette adhésivité indésirable constituait un grand problème que Charles Goodyear finit par résoudre en 1839 et Thomas Hancock, indépendamment, en 1843. Le procédé, connu sous le nom de vulcanisation, revient à combiner le caoutchouc avec du soufre; les atomes de soufre, en établissant des liaisons chimiques latérales entre les chaînes, créent ainsi un réseau moléculaire continu. L'adhésivité indésirable, qui était provoquée par le glissement intermoléculaire, est donc complètement supprimée. Fait imprévu, la cristallisation est aussi moins fréquente, et quand elle a lieu ses effets sur les propriétés mécaniques du caoutchouc sont beaucoup moins graves.

On se souviendra qu'à l'époque de la découverte de la vulcanisation la chimie organique était encore dans l'enfance et que les chimistes n'avaient pas la moindre notion de la structure du caoutchouc (à part sa composition élémentaire) ni de ses propriétés chimiques.

BIBLIOGRAPHIE

[1] GOODYEAR, C. «Gum-Elastic», Vol. I. New Haven, 1855.
[2] MEMMLER, K. «Science of Rubber». Reinhold, New-York, 1934.
[3] *Quart. J. Sci. Arts, R.I.*, **21**, 19, 1826.
[4] *Ibid.*, **21**, 130, 1826.
[5] HERMANS, P. H. et WEIDINGER, A. *J. Appl. Phys.*, **19**, 491, 1948.
[6] HANCOCK, T. «Personal Narrative». Longman, Brown, Green, Longman et Roberts. Londres, 1857.

Etude de la croissance et de la forme des végétaux

C. W. WARDLAW

L'auteur fait l'historique de l'étude de la morphogenèse et la morphologie végétale de 1759 à nos jours, en citant les ouvrages qui s'y rapportent.

MALPIGHI, WOLFF ET GOETHE

Dans son *Anatomia Plantarum* (1685), Malpighi pose les problèmes du développement de la graine et de la formation de la feuille. Cependant, ce n'est qu'en 1759 que nous parvenons à une conception exacte du problème général de la genèse de la forme. Cette année-là, Kaspar Friedrich Wolff, dans sa *Theoria Generationis*, annonce la découverte du point apical de croissance. Wolff s'intéresse à la question générale de l'origine et de la conformation des organes nouveaux. Leur développement représente-t-il seulement une croissance et un dépliement d'organes déjà présents, ou bien y a-t-il construction d'organes nouveaux durant la croissance ? Il peut démontrer que les ébauches foliaires ne sont pas toutes présentes à l'état de rudiments et que de nouvelles ébauches apparaissent successivement à l'extrémité supérieure de l'axe de la tige, le point végétatif. Ici se dessine une idée générale sur l'histoire du développement; mais Wolff n'eut pas de successeurs immédiats et les recherches botaniques suivirent d'autres directions.

C'est un fait curieux que l'auteur que nous allons citer maintenant, Goethe, auquel nous devons le terme de morphologie, n'ait apparemment pas été au courant des écrits de Wolff. Goethe était un observateur indépendant, philosophe et homme de lettres qui regardait de près les végétaux, tout imbu du dessein de formuler quelque conception générale pour englober la diversité de formes qu'il voyait partout dans la nature aussi bien que dans chaque plante prise individuellement. Sa théorie de la métamorphose (1790) se relie naturellement à la morphogenèse car elle expose «les lois de transmutation suivant lesquelles elle (la nature) produit une chose à partir d'une autre, et étale sous nos yeux les formes les plus variées grâce à la modification d'un seul organe . . . le processus par lequel un seul et même organe nous apparaît sous des formes très variables a reçu le nom de *Métamorphose des Végétaux*». La lecture de son texte montre qu'il a été fasciné par la variation des formes, qu'il s'intéressait aux mécanismes sous-jacents. Malheureusement ses idées générales sur la forme végétale se révèlent, à l'examen attentif, dépourvues de consistance: elles n'ont par conséquent suscité aucun travail expérimental.

VON MOHL, NAEGELI ET SCHLEIDEN

Les successeurs de Goethe apportent peu de progrès à nos connaissances des formes et des structures végétales, étant pour la plupart imbus d'une vision scolastique. Alphonse de Candolle donne la vue d'ensemble suivante sur la Biologie durant les premières années du XIXe siècle: «A la suite des grandes guerres du début du siècle les collections s'augmentèrent soudain du fait de nombreux et longs voyages de naturalistes éminents. Une infinité de spécimens, animaux et végétaux, ainsi rapportés de tous les points de la terre appelaient impérativement la description, la dénomination et la classification. La science était pour ainsi dire submergée et même en n'étudiant que les plus apparentes des formes trouvées il y en avait assez pour fatiguer à l'excès toute une génération. Ce travail progressait quand de meilleurs microscopes furent inventés et la manière de les utiliser portée à la perfection. Ce fait accrut encore la quantité d'objets proposés à l'étude et de telles recherches devinrent l'occupation favorite de près de la moitié des naturalistes».

Ce qui ouvrit réellement une phase nouvelle et plus scientifique de la Botanique fut l'intervention de brillants chercheurs. Hugo von Mohl observe la division cellulaire, crée le mot protoplasme et nous laisse quelques idées directrices qui en découlent; il donne la cellule comme étant l'unité de construction de la plante et restaure l'étude de l'anatomie des végétaux. En 1842, Schleiden publie son *Grundzüge der Botanik* qui est un des livres les plus remarquables et les plus caractéristiques qui ait jamais paru en Botanique. L'auteur prêche fortement un nouvel évangile: le moyen

d'accès à de nouvelles découvertes réside dans l'étude du développement et sa connaissance est le fondement de toute synthèse sur la morphologie. Ce qui donne de l'importance au livre ce n'est pas tant le travail botanique de Schleiden, qui à la vérité contient beaucoup d'erreurs, mais les idées très claires qu'il énonce sur les points où se situent les problèmes réels et son attaque violente contre les activités mal dirigées de ses prédécesseurs et de ses contemporains. Ces critiques ont constitué un important stimulant au moins pour la jeune génération de botanistes. La clef de la morphologie, répétait-il, réside dans l'étude du développement, et la clef de la physiologie dans l'étude de la cellule vivante. En essayant d'expliquer ou d'interpréter ce que nous voyons dans les organismes vivants, «nous tâtonnons dans le noir, à moins de l'aborder comme une chose qui change continuellement, et si nous la jugeons seulement à son état achevé».

A la même époque Naegeli se demandait comment se forment les cellules dans les organes végétatifs en croissance et jusqu'à quel point les processus sont les mêmes chez les cryptogames inférieurs et les plantes vasculaires. Il découvre la cellule apicale, trait caractéristique de l'organisation de beaucoup de plantes, et avec von Mohl fonde et élabore la théorie de la formation de la cellule. C'est là une découverte capitale qui a attiré l'attention sur l'importance des points apicaux de croissance comme régions formatrices fondamentales chez les végétaux, conception qui prévaut aujourd'hui que les recherches sur la morphogenèse se concentrent sur l'apex de la tige comme région morphogénésique primaire. Sachs, dans son *Geschichte der Botanik* énonce comme suit la conception du développement de Naegeli: «Puisque dans la nature chaque chose est en mouvement et chaque phénomène transitoire, se présentant à nous, dans la vie organique, comme l'histoire du développement, nous devons tenir compte de leur condition de constante mobilité quand nous élaborons des conceptions scientifiques. L'histoire du développement constitue non seulement un des moyens variés de recherches mais s'identifie à la recherche dans la nature organique».

Les cryptogames inférieurs (végétaux non-vasculaires) ont été le principal sujet des recherches initiales de Naegeli sur les apex, mais plus tard il étendit son travail aux cryptogames supérieurs (Fougères et végétaux proches) et aux phanérogames (plantes à graines): il allait donc du plus simple au plus complexe au point de vue des types d'organisation. En liaison étroite avec cette innovation méthodologique, il fit de la nouvelle doctrine de la cellule le point de départ de la morphologie, reliant le développement initial des organes et leur croissance subséquente à la formation de cellules séparées. Il a montré que dans beaucoup de cryptogames chaque organe possède une seule cellule à son apex et que toutes les cellules successives qui constituent le tissu se forment par division de cette unique cellule suivant des lois fixes. Ces observations, étendues par Hofmeister et d'autres, ont servi de base à de nombreuses recherches botaniques. Sachs rend cet hommage à Naegeli que son ouvrage est le premier effort «pour appliquer les lois mécanophysiques à l'explication du phénomène de la vie organique».

Un important résultat du travail de Naegeli et de ses successeurs a été l'apport d'un grand nombre de données détaillées sur la structure des régions en croissance des plantes fournissant ainsi des matériaux particulièrement utiles dans les recherches de morphogenèse.

HOFMEISTER ET SACHS

En 1851, Hofmeister publie ses *Vergleichende Untersuchungen* (Recherches comparées). Une étude même rapide de ce livre montre que les dessins et les descriptions d'Hofmeister apportaient nombre d'informations nouvelles et précises sur le développement des gamétophytes et des sporophytes des Bryophytes, Ptéridophytes et plantes à graines. Ces études sont peut-être mieux connues comme fondement de nos connaissances sur l'alternance des générations, mais il n'est pas moins important qu'il ait fourni un grand nombre de données essentielles sur les changements morphologiques et structuraux progressifs survenant au cours du développement de l'individu. De plus, ces études descriptives préparaient la voie à ses études postérieures sur les facteurs qui jouent dans les développements observés.

A la même époque, paraît un autre travail illustré et descriptif important où l'organogenèse florale est traitée avec beaucoup de détails. C'est l«Organogénie de la fleur» de Payer (Paris, 1852).

Au cours de son déroulement, le travail de Hofmeister cesse d'être purement descriptif. Ce n'est pas assez pour lui d'observer durant le développement d'une espèce une succession régulière de changements caractéristiques dans la forme et la structure. Il recherche constamment comment les formes observées se constituent, à quels processus de croissance on doit relier les développements structuraux qu'il observe et quels sont les

FIGURE 1 – *Wilhelm Hofmeister* (1824–77).

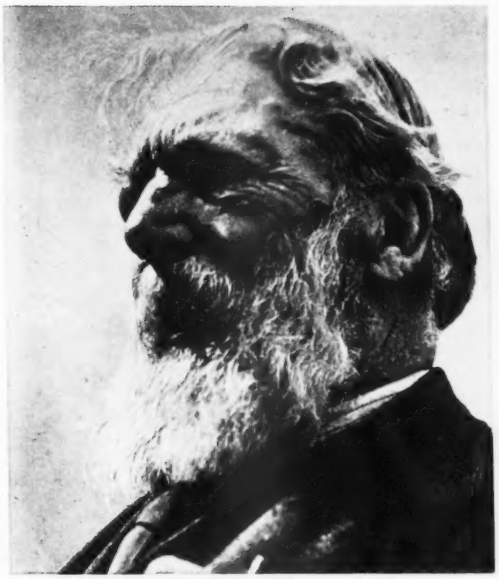


FIGURE 2 – *Sir D'Arcy Wentworth Thompson* (1860–1948).

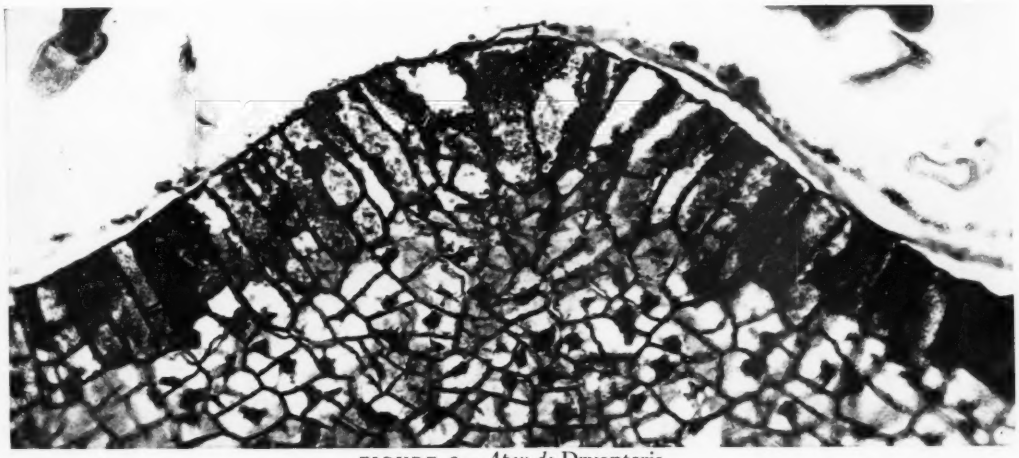


FIGURE 3 – *Apex de* Dryopteris.

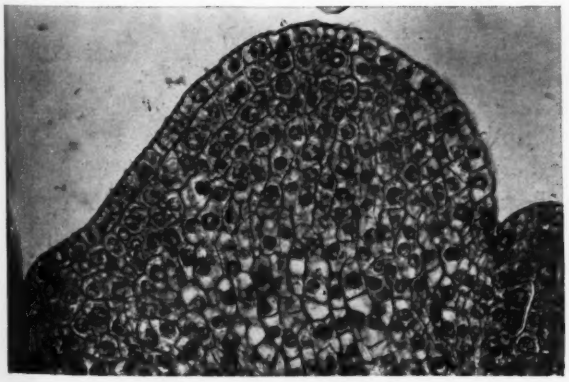


FIGURE 4 – *Apex de* Phaseolus.

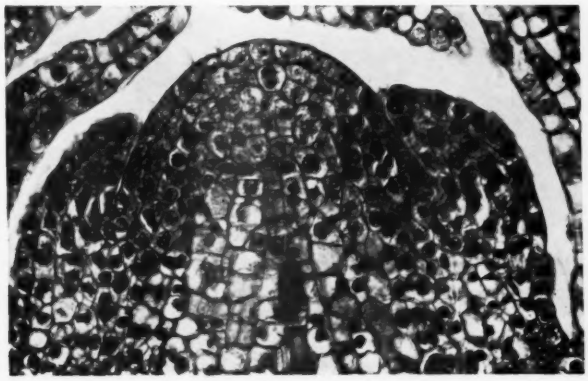


FIGURE 5 – *Apex d'If.*

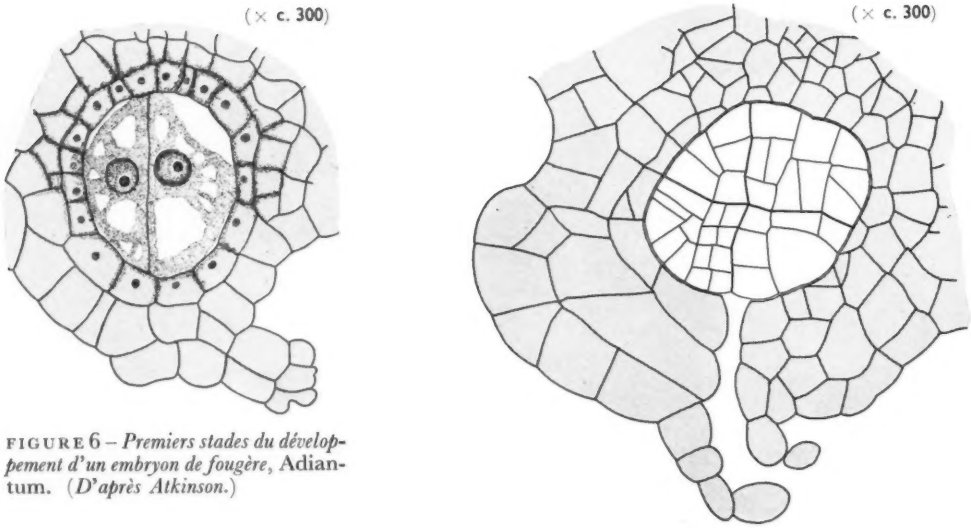


FIGURE 6 – *Premiers stades du développement d'un embryon de fougère,* Adiantum. (*D'après Atkinson.*)

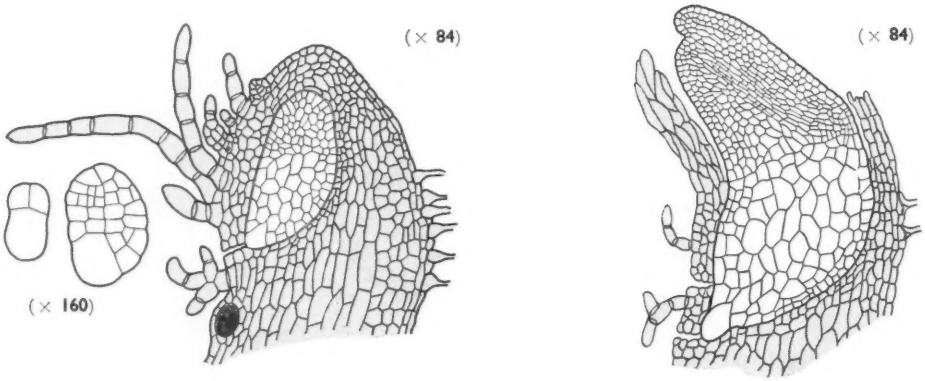


FIGURE 7 – *Stades du développement d'un embryon de* Lycopodium selago. (*D'après Bruchmann.*)

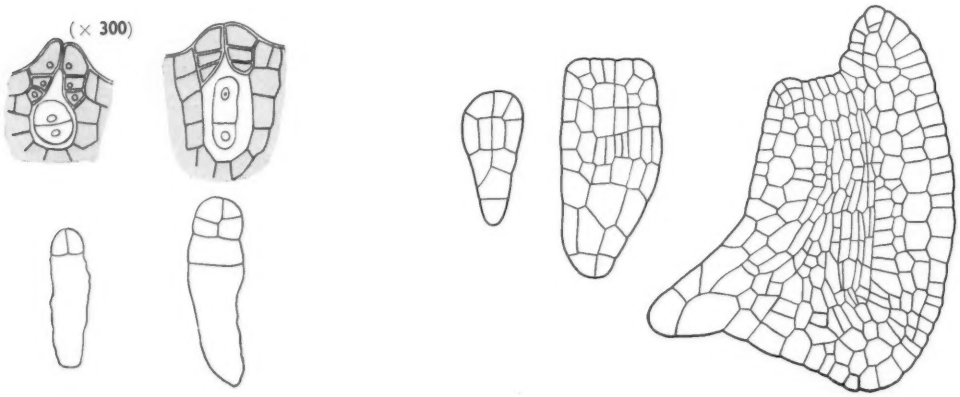


FIGURE 8 – *Stades du développement embryonnaire de* Selaginella spinulosa. (*D'après Bruchmann.*)

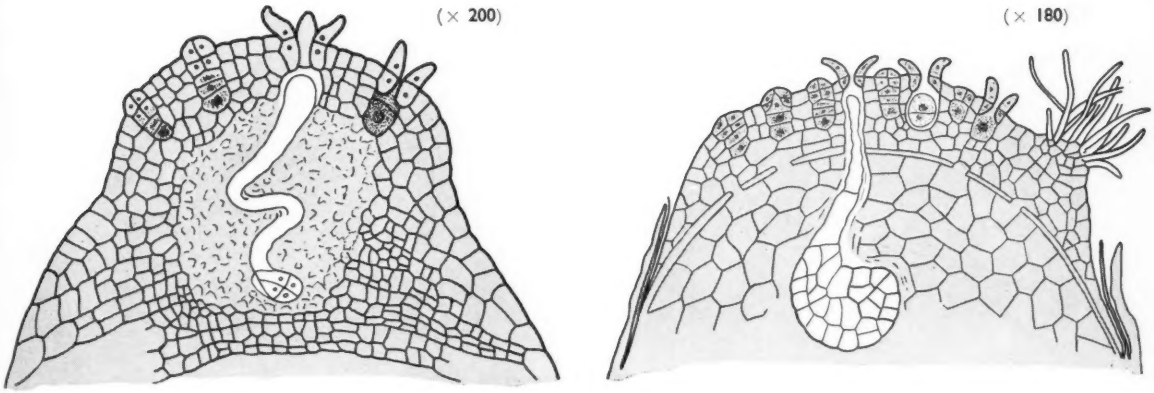


FIGURE 9 – *Premiers stades de l'embryogénie de* Selaginella galeottei *et de* S. poulteri. (*D'après Bruchmann.*)

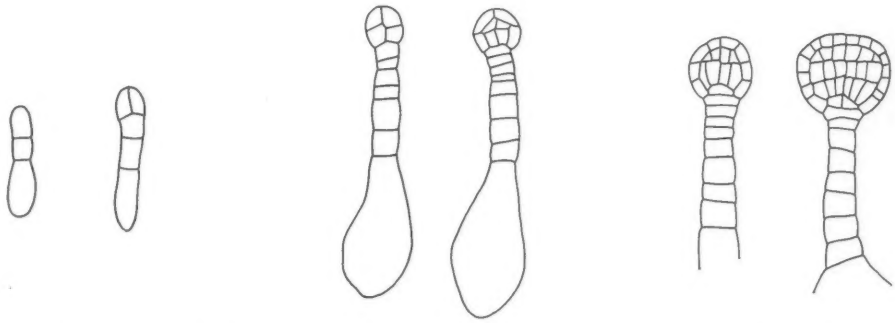


FIGURE 10 – *Premiers stades de l'embryogénie d'une plante à fleurs, la Bourse-à-Pasteur,* Capsella Bursa-pastoris. (*D'après Souèges.*)

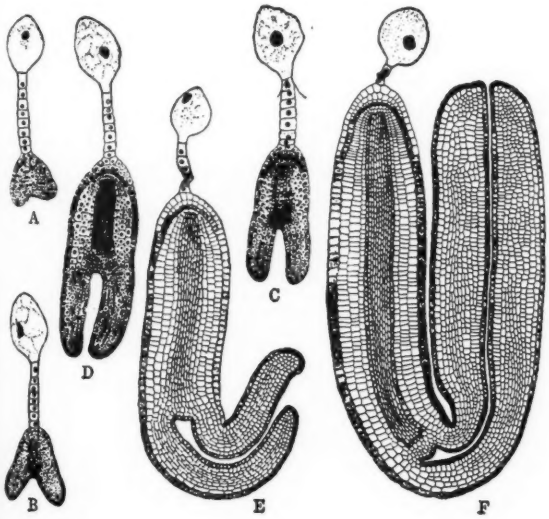


FIGURE 11 – *Stades ultérieurs de l'embryogénie de* Capsella. (*D'après Schaffer, reproduit avec autorisation de* P. MAHESHWARI, An Introduction to the Embryology of Angiosperms. *McGraw-Hill Book Company Inc., New York,* 1950.

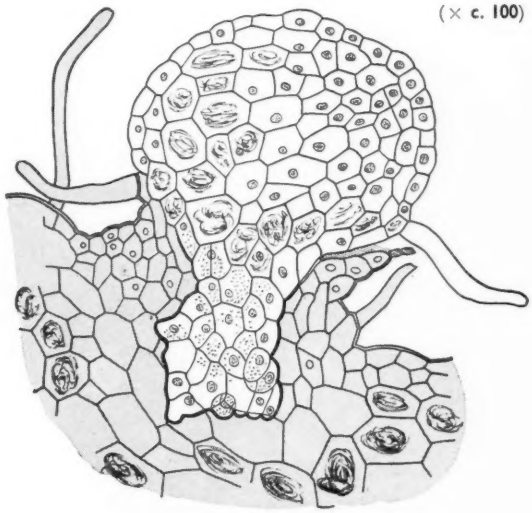


FIGURE 12 – *Embryon d'un Ptéridophyte sans feuille ni racine,* Tmesipteris. (*D'après Holloway.*)

facteurs internes et externes qui déterminent l'organisation structurale spécifique. Il publie en 1868 les résultats de ces recherches dans *Allgemeine Morphologie der Gewächse* (Morphologie générale des plantes). Dans ce travail, il essaie d'introduire des idées mécanophysiques dans ses études de morphologie, et de tirer des généralisations de celles-ci et des données des expériences physiologiques.

La façon dont Hofmeister abordait les problèmes de morphologie causale était directe, elle présentait aussi des qualités d'ampleur et de diversité. Sa contribution comprend un exposé général du problème, mettant la croissance au centre du tableau; des études sur la formation des axes et de leur appendices, c'est-à-dire sur les activités formatrices au point végétatif; la formation des feuilles et la phyllotaxie (dont il lance l'interprétation mécaniste); l'effet des facteurs externes, par exemple la lumière et la pesanteur, sur la conformation des plantes; la conformation des embryons dans les graines; l'effet des organismes parasites, par exemple l'étude de la formation des galles utilisée comme moyen d'investigation des facteurs causaux; les effets mutuels des organes adjacents; l'effet des conditions écologiques, par exemple pour les plantes aquatiques; et les facteurs qui déterminent la position des cloisons de séparation des cellules lors de la division.

Dans son livre *Die Lehre von der Pflanzenzelle* (La doctrine de la cellule végétale), 1867, il émet l'idée importante que c'est l'organisme entier qui est l'unité de construction et non pas les cellules qui le constituent. Dans tout ce travail les relations de forme sont présentées comme conditionnées par la croissance. Il est important et juste de reconnaître que Hofmeister est très moderne dans ses vues générales sur la morphogenèse. De fait, son travail précède de beaucoup les mécaniques du développement des zoologistes. Ainsi, considérant les facteurs de la morphogenèse, il déclare que ce sont les forces spécifiques héréditaires inconnues qui sont de première importance. En même temps qu'elles, agissent les forces externes qui nous sont mieux connues, telle la pesanteur. «Et cette coopération donne un résultat de nature mixte, une conformation qui nous permet de reconnaître l'influence de la seconde force (c'est-à-dire des facteurs extrinsèques) comme décisive dans les caractéristiques mineures. Ce qui est le plus évident c'est la manière dont la forme de la plante est influencée par une force ou une somme de forces agissant dans une direction verticale».

Tandis que la morphologie comparée s'engageait dans les considérations de phyllogénie et s'isolait en une discipline de plus en plus restreinte — preuve les écrits des botanistes des dix dernières années du XIXe siècle — quelques botanistes continuaient à suivre la voie ouverte par Hofmeister. Parmi eux on trouve principalement Sachs qui fut non seulement un maître de physiologie végétale, mais aussi un morphologiste dont les écrits sont empreints de l'intérêt le plus pénétrant pour les problèmes de causalité. Son livre *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie* (Conférences sur la Physiologie des plantes) paru en 1882, contient beaucoup d'exemples où le développement de la forme est rapporté à des facteurs physiques et à des relations mathématiques. En 1877, il formule sa règle de «section rectangulaire», selon laquelle dans tous les tissus les nouvelles parois cellulaires se forment à angle droit de celles déjà existantes; ceci constitue, en fait, une extension de l'hypothèse de Schwendener (1860). Cette étude intéressa également deux contemporains importants de Sachs, Berthold et Errera, qui en 1886 proposèrent indépendamment l'hypothèse que lors de leur division les cellules se séparent par des cloisons de surface minimum, le facteur physique intéressé étant la tension superficielle. On voit immédiatement la valeur d'une telle hypothèse et des conceptions qui en découlent si nous considérons la similitude que présentent les plans de segmentation d'une catégorie très importante de plantes ou à l'apex des Algues, des Bryophytes et des Ptéridophytes.

Sachs doit retenir notre attention à un titre supplémentaire; c'est lui qui a proposé la théorie de la corrélation chimique dont la vogue a atteint son apogée dans la Botanique et la Biochimie de nos jours. La croissance et la morphogenèse sont inséparables. L'analyse d'un processus morphogénésique est une analyse de croissance et donc de métabolisme et, en particulier, de métabolites spécifiques. Nous pouvons donc voir dans les idées de Sachs l'origine de nombreux travaux contemporains sur la biochimie des plantes, les phytohormones et les sujets connexes.

UNE NOUVELLE DIRECTION

On pourrait penser qu'à la suite des recherches de Hofmeister et de son exploration critique des relations entre l'activité physiologique et la réalisation de la forme, la Botanique était enfin établie sur des bases larges et sûres parmi lesquelles la morphologie et la physiologie étaient acceptées comme des aspects inséparables du même thème. On s'attend à trouver ensuite une période de progrès rapides. En fait, il n'en est rien. Les botanistes n'étaient peut-être pas tout à fait prêts à accueillir

les conceptions nouvelles de Hofmeister. Le sujet et les problèmes proposés étaient d'une difficulté extrême et les écrits du maître, condensés et quelque peu abstrus, n'étaient pas toujours aisés à comprendre. Mais il y eut une autre raison très compréhensible: Darwin venait de publier son «Origine des Espèces» (1859). Pendant la période, appelée phylétique, qui suivit la publication de la théorie de l'évolution, les détails de l'embryogénie végétale, de la forme et de la structure des plantes adultes et aussi les faits que l'on pouvait tirer des fossiles étaient considérés principalement comme les matériaux nécessaires à des études comparatives et à la construction de systèmes phylogénésiques. Les vues de Darwin eurent un succès foudroyant. Les problèmes mécanistes de morphologie générale ou causale furent laissés de côté, la morphologie comparée devenait une fin en soi et on la considérait comme une discipline distincte. Le résultat inévitable fut l'énoncé de concepts de caractère purement morphologique. Certains de ceux-ci coupés de la physiologie se trouvèrent en fait pratiquement coupés de la réalité. Les botanistes ne se préoccupèrent plus de savoir comment les formes observées se réalisent sous l'action des facteurs physiques, physiologiques et autres. Ils se demandaient plutôt quelles relations entre familles ils pouvaient tirer des formes et des structures observées et quelle lumière ces considérations apportent sur la marche de l'évolution. La relation entre la forme et la fonction, que Sachs et plus tard Goebel décrivent sous le terme d'organographie avait naturellement son importance pour ceux qui maintenaient la position darwinienne et recherchaient partout l'adaptation dans la vie des plantes. Mais les facteurs contribuant à la formation des organes et à la différenciation des systèmes de tissus restaient en grande partie inexplorés. Plusieurs dizaines d'années devaient passer avant que les méthodes et les conclusions des évolutionnistes soient sérieusement mis en question.

LE RENOUVEAU DE LA MORPHOLOGIE CAUSALE

La littérature des environs de 1890 montre combien les tenants de la morphologie comparée étaient sûrs que cette branche était une discipline indépendante avec laquelle la physiologie n'avait rien à voir. Mais au début du XXe siècle un changement se produit: les botanistes commencent à avoir des doutes sur les mérites de la morphologie comparée en tant que discipline séparée, ils acquièrent aussi des raisons de douter de quelques-unes de ses conclusions majeures. L'arbre monophylétique du règne végétal conçu par les successeurs les plus enthousiastes de Darwin, tels que Haeckel, dans lequel on fait dériver d'un seul tronc les Algues, les Mousses, les Fougères, les Gymnospermes et les Angiospermes, apparaît en désaccord avec les faits révélés par une expérience approfondie. En particulier, la preuve qu'une évolution parallèle ou, suivant Ray Lankester, un développement homoplastique, est largement répandu dans le règne végétal, et que des innovations et des développements morphologiques majeurs comparables ont lieu dans des groupes totalement indépendants, indiquait qu'on devait remplacer la conception d'un arbre monophylétique par une construction faisant une large place à l'évolution parallèle. A partir de ce moment la morphologie comparée perdit rapidement du terrain.

Notre revue historique nous conduit ainsi à la réunion de la British Association de 1915 où, dans son adresse présidentielle, le Professeur Lang développait le thème de la «Morphologie causale et phylétique». Il y exposait clairement les deux positions différentes, indiquait le danger de la morphologie conçue uniquement comme une étude comparative et insistait sur les occasions étonnantes fournies par les recherches causales. Même si l'histoire phylétique nous était clairement exposée, disait-il, les problèmes de morphologie causale et générale attendraient encore une solution. A l'égard des développements parallèles qui avaient constitué une telle pierre d'achoppement pour les phylogénistes, Lang prend une attitude tout à fait différente. Les nombreux exemples de développements homoplastiques font ressortir la nécessité d'étudier particulièrement les facteurs responsables de ces développements. Ainsi, une fois de plus, on met l'accent sur les facteurs responsables du développement de la forme et de la structure. Lang indique en particulier la nécessité d'études expérimentales et physiologiques sur les processus morphogénésiques de l'apex des tiges. Quelques années plus tard (1923), dans une autre adresse présidentielle à la British Association, Sir Arthur Tansley reprend ces conclusions. La morphologie comparée cesse d'attirer les jeunes botanistes, et la Botanique devra désormais se consacrer à l'étude des processus de développement à la fois chez l'individu et dans la race et s'attacher à déterminer les forces impliquées par ces développements.

DE 1910 À 1930

La période suivante présente donc une exceptionnelle importance pas tellement au point de vue des acquisitions dans l'étude de la morphogenèse

des plantes qu'au point de vue de l'établissement d'un nouveau plan de travail expérimental. En 1917 paraît un livre remarquable de D'Arcy Thompson intitulé *On Growth and Form* (Sur la croissance et la forme). C'est un travail sur la morphogenèse qui a servi de stimulant à un grand nombre de chercheurs. Pour D'Arcy Thompson, les organismes vivants étaient pleins de mystères et d'éléments inconnus, mais il mit en vedette une idée importante: les plantes et les animaux sont faits de matière, leurs organes doivent donc être mus et conformés suivant les lois physiques et mathématiques. «En général, dit-il, les seules formes organiques qui existent sont celles qui sont en conformité avec les lois physiques et mathématiques». C'est là la thèse principale, illustrée d'exemples tirés des deux règnes, animal et végétal. Il montre avec une suprême élégance de présentation combien de formes et de structures intéressantes pour les morphologistes et surtout pour ceux qui étudient la morphogenèse peuvent s'expliquer en se référant à des lois physiques relativement simples et à des relations mathématiques. Ce n'est évidemment pas tout à fait la même chose que de prouver que les structures observées sont dues à des facteurs physiques ou à des relations mathématiques. A vrai dire, certaines parties du livre ont été sévèrement critiquées.

A peu près en même temps paraissait un autre travail important sur la morphogenèse. C'est le petit livre de Child: *Individuality in Organisms* (1915) dans lequel il soutient que les gradients physiologiques ont été chez les plantes et les animaux de puissants facteurs dans la détermination du développement morphologique. Au cours des années, Child et ses élèves ont recueilli des données sur cet aspect de la morphogenèse; un exposé d'ensemble est paru en 1941 sous le titre de *Patterns and Problems of Development* (Plans et problèmes du développement). Prat (1945) a publié un exposé plus purement botanique, inspiré des mêmes principes.

Durant cette période nous voyons aussi les idées nouvelles attirer les botanistes qui jusque-là avaient travaillé principalement dans le domaine de la morphologie comparée. Ainsi, Bower, dont les premiers écrits sur la stèle des Ptéridophytes, firent considérer ce système comme l'un des meilleurs critères de comparaison à cause de sa nature conservatrice, publie en 1921 un article bien connu sur «la Taille, facteur négligé de la morphologie de la stèle» et en 1936 son livre *Size and Form in Plants* (Taille et forme des plantes). A l'aide d'illustrations tirées de nombreuses variétés de Ptéridophytes, il montre que l'accroissement de la complexité de la stèle va de pair avec un accroissement de taille et que c'est dans les régions où elle s'établit, c'est-à-dire le point de croissance apicale, que nous devons chercher une explication plus complète de la corrélation taille-structure. En 1922, toujours orienté vers de nouvelles recherches sur la causalité, Bower s'était attaqué à l'embryogenèse des plantes et avait montré que dans tout le règne végétal la polarité de l'organisme est déterminée dès la première division de l'œuf, et insisté sur la généralité du développement suivant un axe, une de ces remarquables homologies d'organisation auxquelles se référait Lang. Un trait important de cette étude est la tentative de trouver des preuves expérimentales se reliant aux processus morphogénésiques dans le développement de l'embryon.

A ce sujet, il est peut-être indiqué de dire quelques mots de Goebel. Son grand livre *Organographie der Pflanzen* fut publié en 1897. Dans ce livre, dont les éditions successives présentent naturellement quelques différences, on trouve un grand nombre d'observations sur la croissance et le développement des plantes présentées comme résultats de recherches expérimentales. Ses études se rapportaient primitivement à l'action des facteurs écologiques sur la configuration des plantes. «La morphologie doit déterminer à quel point la formation des organes dépend des conditions externes et dans quelle mesure elle dépend des conditions internes». Certaines de ses idées coïncident avec les directions modernes des études de morphogenèse comme le montrent des phrases telles que celle-ci: «il est infiniment plus important de découvrir les facteurs qui induisent dans le développement d'une feuille donnée un des côtés à être plus large que l'autre, que de construire une hypothèse phylogénésique non appuyée sur les faits». Par organographie, dans ses premiers écrits, il entend la relation réciproque de la forme à la fonction où les facteurs du milieu jouent un rôle capital, attendu que, comme il le dit clairement dans son *Einleitung in die Experimentelle Morphologie* (1908), l'étude de l'organogenèse réside d'abord dans l'histoire du développement de l'organisme individuel. Les livres de Goebel et ses nombreux articles scientifiques sont pour ceux qui étudient actuellement la morphogenèse une mine où ils peuvent trouver presque à coup sûr un grand nombre de travaux concernant leurs propres recherches; on peut aussi y trouver des idées fécondes et de nombreux travaux expérimentaux sur la morphogenèse.

LE POINT DE VUE CONTEMPORAIN

La période contemporaine a été caractérisée par quelques progrès importants et par un grand regain d'intérêt pour la morphogenèse. Il est non moins important de noter la tendance qu'offrent les diverses disciplines de recherches à confluer en une seule voie d'accès au problème de la morphogenèse, tendance qui doit aboutir à une conception complète de l'organisation que nous voyons dans les plantes.

Durant cette période, on a effectué des recherches anatomiques étendues sur les méristèmes apicaux et la formation des organes dans toutes les classes de végétaux, ainsi que des études expérimentales sur les bourgeons, la formation des racines, des feuilles et des fleurs; sur la phyllotaxie et la différenciation des tissus en utilisant des techniques chirurgicales, la méthode des cultures de tissus ou le contrôle des facteurs écologiques. Les recherches sur la croissance et en particulier sur la physiologie, la biochimie et l'activité morphogénésique des substances de croissance se sont poursuivies dans le but d'établir les relations entre l'activité biochimique et la réalisation de la forme. Cette période marque aussi le début d'une branche nouvelle et fondamentale de la biologie: la génétique physiologique. Ainsi les traités récents de génétique comportent typiquement un chapitre sur la morphogenèse. A la vérité, il existe peu de botanistes contemporains niant aux facteurs génésiques, gènes sous leurs différentes formes et combinaisons de gènes, une action dans chaque phase et chaque aspect des processus morphogénésiques. La cytogénétique et l'enzymologie ont maintenant tendance à progresser en liaison étroite et à se mettre en relation peu à peu avec la physiologie de la croissance et les faits du développement établis par le morphologiste. Les particules héréditaires, les gènes, sont de grosses molécules organiques, ou des aggrégations de celles-ci arrangées d'une certaine manière dans les chromosomes et leur action primaire dans la cellule végétale est biochimique. Les développements structuraux corrélatifs mettent en jeu à la fois les propriétés biochimiques et biophysiques de la cellule vivante. L'usage du microscope électronique, des rayons X et d'autres innovations techniques récentes commence à rendre possible l'exploration de la structure submicroscopique de la matière vivante. Les nombreux colloques sur les différents aspects de la morphogenèse témoignent de l'importance de ce sujet pour la Botanique actuelle.

Les matériaux d'étude de la morphogenèse sont les embryons et les régions de croissance des végétaux. Ainsi les stades successifs du développement de l'œuf fécondé des plantes vasculaires fournissent de remarquables exemples de l'établissement d'un développement axial, de patrons cellulaires et de formation de la tige, de la feuille et de la racine. Les figures représentent quelques-uns de ces développements. Dans chaque cas il faut expliquer les facteurs, à la fois intrinsèques et extrinsèques, qui produisent les structures observées, l'élaboration progressive de la forme et l'unité harmonieuse de l'individu. En pratique, les embryons des plantes vasculaires offrent beaucoup de difficultés pour les recherches expérimentales; pourtant quelques travaux intéressants commencent à paraître et donnent de grands espoirs pour le jour où nous disposerons de nouvelles techniques. Ceux qui étudient la morphogenèse ont eu recours à une région plus accessible, l'apex de la tige, qui reste toujours embryonnaire. Les apex offrent une grande diversité histologique dans les différentes classes de plantes vasculaires (figures 3–5), chez certaines on distingue une cellule apicale à la position la plus distale, chez d'autres une disposition caractéristique en feuillets; les différents types d'apex offrent leur intérêt propre et posent chacun leur problème propre. Ces récentes années, on a poursuivi de nombreuses recherches sur l'apex de la tige par des méthodes anatomiques directes et aussi expérimentalement grâce aux techniques chirurgicales, aux cultures de tissus et aux analyses biochimiques. La comparaison des apex dans des plantes de constitution génésique connue se révèle aussi fructueuse. Au début de la floraison l'apex végétatif subit une transformation remarquable. Il devient le siège de la formation des différentes parties de la fleur et une nouvelle série de problèmes de morphogenèse se pose aux chercheurs. A la vérité, dans le développement de chaque plante, il se pose des problèmes de morphogenèse dont la solution peut exiger une contribution de toutes les branches de la connaissance botanique.

Revue des livres

BOTANIQUE

SUMMERHAYES, V. S. *Wild Orchids of Britain.* Pp. XVIII + 366, avec de nombreuses planches en couleurs, en demi-teintes monochromes et des dessins. Collins, Londres. 1951. 21s.

C'est le premier exposé aussi complet et à jour de la question. De lecture aisée et pourtant technique, il est abondamment illustré en couleurs et de prix raisonnable. L'étude du Colonel M. J. Godfery, parue en 1933 était, en effet, chère et eut peu de circulation. L'introduction décrit la vie extraordinaire des orchidées et leur parenté remarquable avec les champignons saprophytiques. La suite traite de la constitution de la fleur, de la pollination et la fécondation de ces plantes, de leur répartition géographique et écologique et de leur classification. Mais la plus grande partie du livre est occupée par l'étude des espèces, séparément ou en groupes. Enfin on trouve une flore pour la détermination des spécimens, un glossaire, une bibliographie et une série de cartes montrant la répartition des espèces en Grande-Bretagne. Les planches, qui reproduisent des photographies en couleurs, sont agréables à regarder et de qualité égale. Elles sont aussi bonnes que le permet le prix modéré du livre. Le texte est captivant et révèle une vaste connaissance personnelle du sujet. Quelques défauts secondaires, tels que de petites erreurs et des opinions à revoir n'en diminuent pas la valeur. T. A. STEPHENSON

Trace Elements in Plant Physiology. Conférences données sous les auspices de l'Union Internationale des Sciences Biologiques. Pp. 141, avec des illustrations linéaires et en demi-teintes. Chronica Botanica Company, Waltham, Mass.; Wm. Dawson and Sons Limited, Londres. 1951. $4,50.

Le livre est fait d'une douzaine d'articles lus à une conférence organisée par l'Union Internationale des Sciences Biologiques à la Station Expérimentale de Rothamsted en 1947. Beaucoup de pays européens sont représentés avec les Etats-Unis car la conférence était une mise en commun de l'expérience agricole acquise pendant la guerre à une époque où la plupart des pays intéressés étaient isolés les uns des autres et où les stocks alimentaires étaient très bas. On étudia activement l'effet d'éléments traceurs sur la croissance des plantes dans l'effort d'accroissement de la productivité agricole.

L'atmosphère où la plupart de ces discussions eurent lieu donne justement et inévitablement à l'effet des déficiences ou excès de ces éléments un intérêt surtout pratique. Pour le biochimiste, de telles études peuvent paraître empiriques ou même inintéressantes si elles ne sont pas reliées au métabolisme et à la physiologie de la plante. A part un ou deux articles — ceux d'Arnon et de Seekles en particulier — aucun n'établit ou n'essaie d'établir une telle relation. Ce n'est pas une critique mais une indication de l'immaturité de la question et de ses possibilités. Le livre intéressera donc davantage l'ingénieur agricole que le biochimiste mais il se rappelera que ces recherches font la trame des généralisations fondamentales futures — généralisations qui à la longue serviront davantage à l'agriculteur que les recherches jusqu'ici. J. C. KENDREW

CHIMIE

ADAMS, ROGER, publié sous la direction de. *Organic Reactions*, Volume VI. Pp. VIII + 517. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 64s.

Le volume VI de cet ouvrage standard à consulter égale les précédents. Les questions traitées sont les suivantes: condensation de Stobbe — condensation d'un aldéhyde ou d'une cétone avec l'acide succinique pour donner des acides alkylidène-succiniques ou des isomérides prototropiques; préparation des isoquinoléines et dérivés (trois articles) avec la réaction Bischler-Napieralski, la synthèse Picket-Spengler — réaction d'une β-aryléthylamine avec un composé carbonyle donnant une tétrahydro-isoquinoléine et la réaction Pomeranz-Fritsch — réunion cyclique d'un arylidène-aminoacétal avec une quinoléine; l'oxydation d'Oppenauer; la synthèse des acides phosphonique et phosphinique; la préparation des composés d'organolithium par la réaction d'interconversion halogène-métal, la préparation des thiazoles, thiophènes et tétrahydrothiophènes et finalement les réductions par l'hydrogénure d'aluminium lithium. La condensation de Stobbe, l'oxydation d'Oppenauer et ces dernières réductions sont d'intérêt général de premier ordre.

La portée relative de chaque réaction est indiquée en détail et un tableau donne la liste des corps auxquels chacune a été appliquée. Le niveau est excellent d'un bout à l'autre et le livre sera très utile pour déterminer la valeur de réactions particulières dans des cas donnés. W. BAKER

BAUD, PAUL. *Traité de Chimie Industrielle.* Trois volumes, totalisant 3072 pages. Masson et Cie, Paris. 1951. 15 400 francs (broché); 17 600 francs (relié).

La parution d'une quatrième édition de cet ouvrage, la première depuis 1943, indique sûrement sa valeur. Elle s'adresse aux étudiants avancés des universités et écoles spéciales mais sera un guide précieux pour tous ceux qui s'intéressent à la chimie industrielle. Les trois volumes — vendus séparément — traitent respectivement des produits chimiques lourds, des dérivés de métaux et métalloïdes et des composés organiques. Chimie industrielle a ici un sens large et comprend, par exemple, le raffinage du sucre, la fabrication du papier, l'extraction des essences naturelles et la préparation des tannins.

L'édition a été, selon l'éditeur, complètement revue et l'étude de quelques points devenus importants ces dernières années seulement, comme la manufacture des silicones, le vérifie pleinement. Nous sommes redevables à l'auteur d'avoir mis à jour cet ouvrage important surtout à un moment où l'on reconnaît la valeur croissante des études technologiques.

ELDERFIELD, ROBERT C., publié par. *Heterocyclic Compounds. Volume 2. Polycyclic Five- and Six-membered Compounds containing one O or S Atom.* Pp. VII + 571. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 120s.

Ce second volume compte quatorze chapitres: 1. benzofurfurane et dérivés (Elderfield et Meyer); 2. isobenzofurfurane, phtalane et phtalide (Elderfield); 3. dibenzofurfurane (oxyde de diphénylène) (Parham); 4. thionaphtène (Fukushima); 5. dibenzothiophène (Fukushima); 6. coumarines (Wawzonek); 7. *iso*coumarines (Wawzonek); 8. chromones, flavones et *iso*flavones

(Wawzonek); 9. chroménols, chromènes et sels de benzopyrylium: les anthocyanines (Wawzonek); 10. chromanones, flavanones, chromanols et flavanols: catéchine, brésiline et hématoxyline (Wawzonek); 11. chromanes (Wawzonek); 12. xanthones, xanthènes, xanthydrols et sels de xanthylium (Wawzonek); 13. fluoranes, fluorescéines et rhodamines (Wawzonek); 14. thiochromanes et corps voisins (Tarbell). Les chapitres 6 à 11 sur les composés hétérocycliques à six membres seront les plus lus car ils traitent d'un grand nombre de produits naturels encore à l'étude.

Le livre cherche à donner, comme le premier volume, une vue d'ensemble de la question avec insistance sur les principes de base. On remarque cependant l'importance accordée aux réactions et méthodes de préparation dont les principales auraient pu être indiquées. Les études sont détaillées et bien annotées. Il y a peu d'erreurs et les formules développées sont bonnes dans l'ensemble. Certaines auraient gagné à être simplifiées par l'emploi des abréviations Me, Et et Ph. L'ouvrage sera pourtant le bienvenu en laboratoire.

W. BAKER

SHIRLEY, D. A. *Preparation of Organic Intermediates*. Pp. x + 328. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 48s.

Ce livre est comparable au second volume de *Präparative Chemie* de L. Vanino. Il renferme 450 préparations organiques, dont certaines nécessitent l'isolation d'intermédiaires, empruntées, sauf deux, à la littérature sur la question. Les composés choisis remplissent tous les conditions suivantes: (1) introuvable dans le commerce ou de prix élevé; (2) préparation non parue dans *Organic Syntheses;* (3) de structure simple et contenant des groupes fonctionnels qui en font un intermédiaire utile ou de préparation renfermant une réaction d'utilité générale. Il est affirmé que le volume contient la préparation des matières premières que l'on ne trouve pas dans le commerce à un prix raisonnable ou dont la préparation ne figure pas dans *Organic Syntheses*.

On s'attendrait à ce que les préparations soient empruntées aux revues d'accès le moins facile mais ce n'est pas le cas.

L'ouvrage rendra grand service à ceux qui ne peuvent consulter les textes voulus, à condition naturellement que les préparations cherchées s'y trouvent. L'impression, les équations et les formules développées sont excellentes; outre l'index général, il y a des index de formules moléculaires et de types de réactions.

W. BAKER

WEST, T. F., HARDY, J. ELIOT et FORD, J. H. *Chemical Control of Insects*. Pp. xi + 211. Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 15s.

La lutte chimique contre les insectes nuisibles s'est développée considérablement depuis qu'on eut l'idée d'utiliser le vert de Schweinfurth contre le doryphore il y a quatre-vingts ans. Le rythme des progrès s'est accéléré avec la découverte de nouveaux insecticides organiques synthétiques au point qu'il est presque impossible de se tenir au courant de tous les produits récents. Ce petit livre, écrit en grande partie en 1947, omet donc bon nombre d'insecticides nouveaux mais il servira d'introduction et de guide utile pour les produits reconnus. On regrette que la forme soit assez négligée car le fond est excellent. On l'appréciera néanmoins car il y a peu d'ouvrages équivalents. A propos des autres méthodes de lutte contre les insectes: «elles sont peu encouragées» nous dit-on, car les meilleures ne «sont que des palliatifs».

V. B. WIGGLESWORTH

GÉOGRAPHIE

SIR CLINTON LEWIS et CAMPBELL, J. D. *The Oxford Atlas*. Pp. 96 + xxvi + 88. Oxford University Press, Londres. 1951. 36s.

Les auteurs de ce nouvel atlas ont mené à bien la tâche redoutable de combiner les arpentages des diverses régions de la surface terrestre nécessaires pour l'établissement de cartes d'échelle et de projection convenant à un atlas. Bien que très détaillées, leurs cartes sont nettes. Les échelles varient pour la plupart des pays de 1/1 000 000e à 1/18 000 000e et les régions choisies pour l'agrandissement sont susceptibles d'intéresser spécialement le public britannique. Les reliefs sont indiqués par une série de teintes agréables et faciles à distinguer.

Outre les cartes topographiques, dix-sept autres indiquent la répartition du climat, de la végétation, de la population ainsi que de l'utilisation du terrain et de sa constitution dans des régions choisies. Ces cartes sont entièrement nouvelles et «ont pour but d'opérer une classification des régions d'après le trait géologique le plus intimement lié à leur relief, à savoir leur structure dominante». La méthode convient assez bien aux cartes à petite échelle mais conduit à des divisions maladroites et parfois inexactes sur la carte plus détaillée de la Grande-Bretagne. Une carte géologique simplifiée portant des informations tectoniques et géomorphologiques serait plus utile.

La reliure est bonne et l'index géographique est complet. On regrette pourtant beaucoup d'erreurs qui rendent la révision nécessaire pour une seconde édition.

P. F. HUTCHINS

GÉOLOGIE

HOLLINGWORTH, S. E. et TAYLOR, J. H. *The Northampton Sand Ironstone: Stratigraphy, Structure and Reserves* (Minerai de fer sableux de Northampton). Mem. Geological Survey of Great Britain. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1951. 17s. 6d.

Le bassin de minerai de fer traité dans ce mémoire fournit maintenant plus de la moitié de la production britannique. On en a déjà retiré 250 millions de tonnes ces cent dernières années et il y en a encore pour 175 ans au taux actuel de 7 millions de tonnes par an. Le sujet est donc d'importance économique primordiale et les deux auteurs, professeurs de géologie à l'Université de Londres, lui ont fait pleinement justice tant au point de vue pratique que scientifique. Le mémoire est un modèle d'exposition, clair, concis et bien ordonné. Tous les problèmes de l'exploitation et de la préparation du minerai en couches sont traités. La stratigraphie et la structure, les méthodes de prospection et d'échantillonnage, les modes de travail et de préparation du minerai sont étudiés ainsi que le bassin minier qui occupe cinq chapitres et à l'exposé duquel cinq autres membres du Centre de Prospection Géologique ont contribué. On trouve en appendice les définitions de termes utilisés dans la description de particularités de relief dues à l'érosion différentielle. La pétrologie du minerai a été traitée dans un mémoire séparé publié en 1949.

W. J. ARKELL

WILLS, L. J. *A Palaeogeographical Atlas of the British Isles and Adjacent Parts of Europe*. Blackie and Son Limited, Londres et Glasgow. 1951. 21s.

Le géologue préhistorien essaie de déterminer par les variations de nature des roches sédimentaires et de leurs fossiles les conditions de dépôt et les

changements de paysage résultant. Il fait donc la synthèse de l'œuvre du pétrologue sédimentaire, du paléontologiste et du géologue de structure. Leur contribution est naturellement limitée par la difficulté des investigations car il est malaisé de déduire d'un affleurement de couche rocheuse par exemple, en partie dissimulé par la terre et la végétation, les variations latérales en épaisseur, constitution, débris animaux de la couche et sa relation avec les formations sous-jacentes. Les conclusions paléogéographiques sont donc souvent imprécises et toujours provisoires sauf dans les régions où les possibilités économiques permettent des sondages.

Tous les âges géologiques sont représentés en Grande-Bretagne, mais pour des raisons variées, certains sont mieux connus que d'autres. Félicitons M. le Professeur Wills de nous présenter courageusement une série complète de reconstitutions paléogéographiques sous forme de cartes depuis le Paléozoïque Inférieur jusqu'au Pléistocène. Chacune des vingt-deux planches renferme un trésor de détails choisis et interprétés par le jugement et l'expérience uniques de l'auteur. Les spécialistes pourront disputer certains points mais le Professeur Wills les désarme en leur demandant de faire mieux. L'ouvrage sera particulièrement utile aux membres de l'enseignement qui se devront d'en expliquer à leurs élèves la véritable intention. La présentation est au-dessus de tout éloge. O. M. B. BULMAN

PHYSIQUE

EMELÉUS, K. G. *The Conduction of Electricity through Gases.* Troisième édition. Pp. x + 99, avec 37 diagrammes. Methuen's Monographs on Physical Subjects. Methuen and Company Limited, Londres. 1951.

Ce petit livre est l'œuvre d'une autorité sur la question. La préface nous annonce que la troisième édition ne diffère pas grandement de la première car les méthodes nouvelles peuvent amener d'un jour à l'autre des changements complets.

Le sujet est d'intérêt constant pour les physiciens et trouve sans cesse de nouvelles applications techniques. La radio-physique et la physique cosmique ont donné un renouveau à ses aspects fondamentaux (e.g. oscillations plasmatiques et effets de radiation probablement conséquents).

Le livre est cependant de portée assez restreinte; le titre «Phénomènes des tubes à décharge» lui conviendrait mieux. Il rendra grand service à l'étudiant de physique au moment voulu et fournira d'utiles renseignements à beaucoup. Mais on aimerait une présentation quelque peu différente, insistant davantage sur les principes fondamentaux intéressés. Une esquisse des apports classiques faits par la question à la physique moderne et une comparaison de la conduction dans lez gaz avec d'autres genres de conduction seraient les bienvenues. Un résumé systématique des phénomènes atomiques prenant place dans les gaz et sur les surfaces serait aussi préférable à des allusions dispersées dans le texte. Mais c'est là suggérer au Professeur Emeléus l'ouvrage plus ambitieux dont il s'acquitterait si bien.

W. H. McCREA

ESCANDE, L. *Compléments d'hydraulique,* deuxième partie. Pp. 248, avec des diagrammes et des photographies. Dunod, Paris. 1951. 1900 fr.

Cette deuxième partie comme la première, éditée par Privat, de Toulouse, en 1947, est faite d'articles et d'études d'intérêt pratique dont la plupart ont déjà paru avec moins de détail sous forme de communications à l'Académie des Sciences et apports aux séances de la Société Hydrotechnique de France.

Le volume sera particulièrement utile aux ingénieurs hydrauliques s'occupant d'installations hydro-électriques car tous les problèmes traités sont pratiques. Un des articles étudie en détail certains aspects de l'incidence des «coups de bélier» dans les canalisations pleines avec toutes les conséquences possibles. Ces recherches poussées furent faites pour le barrage de Génissiat au sujet duquel l'auteur étudia aussi graphiquement la fermeture de papillons sous forte poussée. Un autre article sur les oscillations en chambre d'équilibre développe la méthode graphique bien connue de Bergeron. Un chapitre important traite des problèmes posés par les vannes à secteurs de barrages. Les expériences ont été faites à la fois sur des modèles réduits et sur le prototype.

Une seule critique: le papier de mauvaise qualité ne se prête pas aux reproductions photographiques et le style dactylographique du texte lui donne un aspect amateur, mais le livre est relié cette fois et de grande valeur.

A. GORDON-FOSTER

ROTHERHAM, L. *Creep of Metals* (Fluage des métaux). Pp. 80 + 1. Physics in Industry Series, The Institute of Physics, Londres. 1951. 15s.

Ce livre est l'œuvre d'un physicien et il a naturellement évité les détails techniques des tests de fluage et les listes des propriétés de métaux habituelles. Les résultats expérimentaux cités vérifient des principes de physique et il a fait un choix judicieux de références dans la vaste littérature souvent ennuyeuse du fluage.

A la base de l'étude de ce phénomène se trouvent deux points de vue: l'un analytique, illustré par la résolution d'Andrade des premiers stades du fluage en deux composantes β et K, l'autre synthétique comme le montre l'examen détaillé d'un seul processus de déformation par Mott et Nabarro. Les travaux actuels cherchent surtout à trouver la relation entre les composantes obtenues par analyse de la courbe élongation-temps complète et celles que l'on possède pour sa synthèse. Les deux points de vue sont exposés côte à côte et leur similarité mise en relief aussi clairement que possible. Certains passages sont malgré tout assez obscurs. Ainsi l'exposé de la force de fléchissement (p. 21) n'expliquerait pas au débutant la distinction entre l'évaluation de la résistance d'un large cristal parfait par Frenkel et celle d'un petit cristal par Bragg. Le compte rendu de la théorie du durcissement d'Orowan au sujet du fluage momentané (p. 40) donne une idée de celle de l'épuisement.

Malgré quelques défauts secondaires le livre fera une bonne introduction à la physique du fluage métallique, assez poussée pour le spécialiste et suffisamment intéressante pour le physicien ordinaire et le métallurgiste.

F. R. N. NABARRO

SAWYER, RALPH A. *Experimental Spectroscopy.* Pp. 358. Chapman and Hall Limited, Londres. 2e édition, 1951. 30s. net.

Ce livre rendra grand service au chercheur de problèmes spectrographiques, à l'industriel faisant usage de spectrographes et à l'étudiant en général. Après l'historique du sujet il traite des questions suivantes: sources de lumière, eclairage difficile d'instruments, pouvoir de séparation lumineuse, lentilles, prismes et miroirs, grilles, méthodes de détection de défauts, types de montage, méthodes photographiques, détermination de

longueurs d'onde et d'intensités spectrales, analyse spectrochimique et l'usage d'appareils à rayons infrarouges et ultra-violets dans le vide. Les explications et descriptions de la théorie élémentaire et da technique de laboratoire sont extrêmement claires et concises et complétées par de nombreuses notes référant à la littérature du sujet. Une autorité au courant de la question les a judicieusement choisies.

Cette seconde édition compte beaucoup d'additions rendues nécessaires par les progrès réalisés récemment dans certains champs de la spectroscopie. La spécialisation devient si grande que l'auteur même est moins à l'aise dans les questions qui ne lui sont pas familières. Les perfectionnements modernes non cités sont les lampes à hydrogène intenses et à source unique, la spectroscopie utilisant les tubes à décharge, les dispositifs à miroirs à longue route et les cellules de photo-conductivité à séléniure et tellurure de plomb. Dans la microspectroscopie ne sont cités ni Burch dont le microscope réfléchissant en est un fondement ni les savants britanniques du début. Quelques imitateurs américains seuls y trouvent place. Mais ce sont là des omissions qu'on pourra aisément remédier.

E. J. BOWEN

PSYCHOLOGIE

STEVENS, S. S. Publié sous la direction de, *Handbook of Experimental Psychology*. Pp. XI + 1436. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 120s.

«En un million de mots» paraît-il, «trente-quatre savants distingués ont produit ce traité définitif de Neurophysiologie, Homéostase, Fonction endocrine, Mesurage, Psycho-physique, Fonctions sensorielles, Aptitude pour l'étude, Motivation, Perception, Sélection, Formation, Psychologie expérimentale appliquée». Essayons donc plutôt d'en définir la valeur au point de vue présentation systématique du savoir et peut-être même progrès scientifique.

On peut se demander s'il y a une vertu spéciale dans l'emploi d'un million de mots et s'il était nécessaire dans un manuel de psychologie expérimentale d'insister tant sur l'aspect physiologie pure. Mais c'est la responsabilité du rédacteur et de ses collègues et ils ont exposé clairement leur but: faire un choix, traiter une grande variété de questions convenant à l'étudiant avancé et au spécialiste, et leur fournir un guide et un ouvrage de référence dans leur domaine particulier. Ambition raisonnable qui ne décevra personne. L'ouvrage ne se prête pas à être lu d'un trait mais les passages choisis ne manqueront pas d'impressionner par l'exactitude des informations, la qualité du texte et la clarté d'exposition. Certaines sections sont peut-être d'un niveau moins élevé que d'autres. Ne critiquons pas cependant ce volume d'une rare valeur qui deviendra essentiel dans tout centre actif de psychologie expérimentale et sera pour de longues années un excellent ouvrage de référence.

F. C. BARTLETT

SCIENCE GÉNÉRALE

BRONOWSKI, J. *The Common Sense of Science*. Pp. 154. Heinemann, Londres. 1951. 8s. 6d.

Peu de livres sur la science intéressent également le spécialiste et le profane. En voici un exemple, écrit avec un enthousiasme contagieux d'un bout à l'autre. Les chapitres ne sont pas tous de même valeur et il est difficile de croire que l'art et la science sont tout un, et que la science ne sert qu'à prévoir l'avenir et à prendre des dispositions appropriées. La paléontologie suffit à prouver le contraire car elle révèle un intérêt intrinsèque dans le passé étudié pour lui-même. L'histoire de la science est revue hâtivement et Ray et Linné servent de symboles pour l'ancienne biologie systématique tandis que les deux Darwin représentent l'évolution. Mais le Professeur Bronowski n'a pas complètement épousé les vues du matérialisme dialectique et quand il étudie les nouvelles idées d'indétermination et leur influence probable sur la pensée scientifique et philosophique, il est très intéressant. Sujet difficile clairement et utilement traité.

JOHN R. BAKER

FLEURE, H. I. *A Natural History of Man in Britain*. Pp. XVII + 349, avec de nombreuses planches en couleurs, en demi-teintes monochromes et des figures. Collins, Londres. 1951. 21s.

Bien que savants et originaux, les livres de M. le Professeur Fleure ne révèlent pas toujours sa personnalité unique. Ici, sa clarté de vue, son sens de l'humour et sa connaissance pratique du monde ont produit un ouvrage des plus intéressants sur tous les aspects de la vie humaine en Grande-Bretagne depuis la civilisation pré-romaine: monuments, habitations, poteries, armes, outils et genre de vie, en passant par les relations des Romains avec les habitants, le développement de l'agriculture, l'histoire de l'ouest celtique, des pionniers marins, jusqu'à l'évolution de l'habillement, du bâtiment, des agglomérations, des églises et des châteaux, sans oublier les moyens de transport et les voies de communication. On relève des pointes d'humour comme à la page 202: «d'attrait du sexe doit beaucoup à l'évolution du vêtement dont la modestie est une conséquence directe . . .»

T. A. STEVENSON

HOLMYARD, E. J. *British Scientists*. Pp. VIII + 88. Avec 24 portraits. J. M. Dent and Sons Limited, Londres. 1951. 6s.

Les biographies de savants sont à la mode, aussi ce mince mais intéressant volume sera-t-il bien accueilli, car il retrace la contribution de la Grande-Bretagne au progrès scientifique par la vie de ses chercheurs éminents.

Il existe deux écoles d'interprétation historique: le culte des grands noms et celui de l'évolution des idées. Cependant les idées ont besoin d'hommes pour les exprimer et les répandre. C'est pourquoi le Dr. Holmyard nous présente ici quelques-uns des personnages qui ont joué ce rôle ainsi que les sociétés et institutions britanniques qui ont si largement contribué au progrès de la science. Son choix est excellent. Les chapitres de début relatent les travaux importants de Gilbert sur l'aimant, l'invention des logarithmes par Napier, la découverte de la circulation sanguine par Harvey et traitent des *Principia* de Newton. Puis viennent Lister, Kelvin, Ramsay et Rutherford, plus proches de nous. C'est là une longue succession de grands noms dont la Grande-Bretagne peut être fière. Les lecteurs scientifiques aimeront tous ce livre, non seulement à cause de la richesse d'information qu'il contient mais pour son style érudit qui n'est jamais terne. L'auteur a résisté aussi à la tentation d'orner son sujet. Les vingt-quatre portraits retiendront l'attention.

W. WARDLAW

VON WEIZSÄCKER, C. F. *The History of Nature*. Pp. 180. Routledge and Kegan Paul Limited, Londres. 1951. 12s. 6d.

L'auteur est déjà connu dans les

milieus astronomiques depuis plusieurs années pour sa théorie de l'origine du système solaire où il insiste sur le rôle important joué par la turbulence et les forces de viscosité. Il a appliqué ces idées au problème plus vaste de l'évolution des étoiles.

Ici, le thème est encore plus grand: l'histoire de la Nature, et il est étudié sous l'angle de la dépendance mutuelle de la science naturelle et des disciplines humanistes. La Nature est antérieure à l'homme soumis à ses lois; donc ces disciplines présupposent la science. D'autre part, l'origine de cette dernière est humaine, ce qui présuppose l'existence des disciplines. Il y a deux points de vue sur la vie: celui de l'homme et celui de la science naturelle.

L'auteur retrace d'abord l'histoire de la Terre, puis étudie le temps et l'espace dans l'Univers. Il rejette la doctrine de temps infini qui contredit la pensée essentiellement historique du Christianisme. Vient ensuite la formation des systèmes stellaires d'où il ressort une évolution du chaos et du désordre vers l'ordre et la forme, puis la formation des étoiles individuelles et de la Terre avec ses transformations.

La question de l'origine de la vie se pose alors et on nous fait remarquer que l'existence précéda la connaissance, mais que seule la connaissance sait ce qu'est l'existence. Quelles sont les qualités qui distinguent l'homme des animaux? Qu'est-ce que l'âme? Questions philosophiques que l'histoire sociale et intérieure de l'homme peut aider à résoudre. L'auteur se demande enfin si la science peut conduire à la morale et termine sa stimulante étude par la citation d'Angélus Silésius:

«Ami, c'en est assez. Si tu veux continuer ta lecture,
Va et deviens toi-même le sens et l'écriture». H. SPENCER JONES

ZOOLOGIE

BODENHEIMER, F. S. *Insects as Human Food: A Chapter of the Ecology of Man.* Pp. 1–352. Dr. W. Junk, La Haye. 1951. 10 florins.

Les insectes contiennent, paraît-il, une proportion importante de matières albuminoïdes et minérales, de graisse et de vitamines. Ils constituent donc une source de nourriture appréciable dans les régions tropicales où l'alimentation est surtout végétarienne. Ces pays consomment déjà beaucoup d'animaux, du crocodile à l'escargot, mais les insectes, sauterelles, fourmis blanches et autres, chenilles, notonectes et espèces étudiées ici peuvent encore fournir un supplément.

L'analyse des fourmis blanches (termites) par exemple indique 44,4% de graisse et 36% de matières albuminoïdes; 100 g de chair fournissent 561 calories, ce qui en fait une nourriture très riche, supérieure à beaucoup d'autres de provenance animale. Elle est aussi riche en phosphates et en potasse et donne une huile incolore, bonne pour la friture et pour fabriquer du savon clair, assez dur. L'analyse d'autres insectes cités: chenilles, chrysalides de ver à soie, sauterelles etc. est aussi révélatrice. L'emploi du miel, source d'énergie agréable, par les divers peuples qui le ramassent et l'emmagasinent depuis l'époque paléolithique, fait l'objet d'une étude importante.

Autre partie intéressante: la consommation des fourmis ordinaires et à miel par les indigènes d'Australie. Ces dernières qui sont des ouvrières modifiées gavées jusqu'à ce que leur abdomen gonflé de miel atteigne 1 cm de diamètre, sont une friandise en Australie centrale où les indigènes les déterrent pour sucer le miel de leur abdomen ou détacher et croquer celui-ci. Ces insectes et d'autres sont aussi pour eux un totem. On notera aussi les pages consacrées à la mouche à miel d'Australie (*Trigona*) et aux divers usages de son miel. Selon l'auteur si les insectes ne sont plus consommés en Europe, c'est par coutume et préjugé plutôt que par aversion et il fait l'histoire de leur consommation en Australie, Afrique, Asie et Amérique jusqu'à nos jours.

Les 47 illustrations ajoutent à la valeur du livre et il y a une bonne bibliographie qui condense la vaste littérature sur la question. On regrette l'absence d'index, omission sérieuse dans un ouvrage si détaillé. G. LAPAGE

Traité de Zoologie: Anatomie, Systématique, Biologie. Vol. X, sections I et II. Pp. 1948. Masson et Cie., Paris. 1951. 6500 fr. chaque section.

La parution de ce Volume X en deux parties traitant des ordres supérieurs des insectes à l'exception des coléoptères (déjà étudiés au volume IX) permet de mieux juger l'impressionnant résumé de nos connaissances sur les insectes qu'est le *Traité de Zoologie.* Un travail de ce genre doit nous présenter la vie des insectes dans toute sa beauté, faire leur morphologie comparée et noter les particularités physiologiques et écologiques de chaque groupe. Les deux mille pages de ces volumes sont insuffisantes pour une tâche aussi immense et une liste d'ouvrages à consulter est une nécessité.

Dans l'ensemble l'œuvre est digne d'éloges ainsi que les illustrations abondantes en noir et blanc. Beaucoup sont originales et d'autres ont été refaites pour être dans le même style. Quelques reproductions photographiques en demi-teintes et des planches en couleurs agrémentent la lecture. Chaque ordre ou sous-ordre est traité par un auteur différent, souvent une autorité sur la question: E. Séguy sur les diptères, R. Poisson sur les hétéroptères, P. Pesson sur les homoptères, L. Berland et F. Bernard sur les hyménoptères. Cela entraîne certaines différences comme l'importance accordée aux généralités et à la systématique chez les diptères et les lépidoptères par exemple. Les homoptères, sous-ordre compliqué, sont traités très scientifiquement. Les lépidoptères de J. Burgogne sont de lecture plus facile, à part l'admirable étude de leur reproduction. Certaines parties font une bonne introduction pour des études plus détaillées mais d'autres abondent en généralisations sans indiquer leur source, surtout en ce qui concerne la physiologie. Attendons, cependant, le Volume VIII sur la physiologie et l'écologie des insectes en général, qui doit paraître en 1953.

V. B. WIGGLESWORTH

Livres reçus

(*Note.* La mention à cette page n'exclut pas la possibilité de revue ultérieure.)

BIOLOGIE

MORTON, ALAN G. *Soviet Genetics*. Pp. 174. Lawrence and Wishart, Londres. 1951. 15s.

SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, comptes rendus No. 5. *Carbon Dioxide Fixation and Photosynthesis*. Pp. 342, avec divers diagrammes linéaires et en demi-teintes. Cambridge University Press, Londres. 1951. 42s.

BOTANIQUE

UNION INTERNATIONALE DES SCIENCES BIOLOGIQUES, Conférence organisée par.

CHIMIE

C.N.R.S. *Réarrangements Moléculaires et Inversion de Walden*. Colloque tenu à Montpellier du 24 au 29 Avril 1950. Pp. 152. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 1951.

CUMMINS, A. E. et VINCE, S. *German Books on Chemical and Cognate Subjects published* 1939–50. (Livres allemands de chimie et sciences voisines publiés de 1939 à 50). Seconde édition revue et élargie. Pp. 102. Lange, Maxwell and Springer Limited, Londres. 1951. Gratuit sur demande.

MEYER, K. H. *Natural and Synthetic High Polymers*. Pp. 891, avec des illustrations en demi-teintes et des figures. Interscience Publishers Inc., New York. 1951. $15.

SCHREIBER, R. S. *Organic Syntheses*, Vol. 31. Pp. 122. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 22s.

WAHL, ARTHUR C. et BONNER, NORMAN A., publié par. *Radioactivity Applied to Chemistry*. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 60s.

YOUDEN, W. J. *Statistical Methods for Chemists*. Pp. 126. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 24s.

INDUSTRIE

CONVENTION BRITANNIQUE DU PLASTIQUE DE 1951. Articles et Etudes. *Plastics Progress*. Publié par Phillip Morgan. Pp. 310. Edité pour *British Plastics* par Iliffe and Sons Limited, Londres. 1951. 50s.

DISERENS, LOUIS. *The Chemical Technology of Dyeing and Printing*, Vol. II (Technologie chimique de la teinture et de l'impression). Seconde édition allemande revue et traduite par Paul Wengraf et Hermann P. Baumann. Pp. 446. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 96s.

NEWTON, LILY. *Seaweed Utilization* (Utilisation des algues). Pp. 188, avec de nombreuses illustrations en demi-teintes et des figures. Sampson Low, Marston and Company Limited, Londres. 1951. 21s.

MATHÉMATIQUES

ATTWOOD, C. *Advanced Five-figure Mathematical Tables*. Pp. 69. Macmillan and Company Limited, Londres. 1951. 4s. 6d.

MÉCANIQUE

PERUCCA, ELIGIO, publié sous la direction de. *Dizionario d'Ingegneria*, Vol. I, A–CER. Pp. 1052, avec 2200 figures dans le texte. Unione Tipografico Editrice Torinese, Turin. 1951. 12 000 lires.

MÉDECINE

BARLOW, FRED. *Mental Prodigies*. Pp. 256. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1951. 12s. 6d.

Documenta Ophthalmologica, Vol. V–VI. Pp. 585, avec divers diagrammes linéaires et en demi-teintes. Dr. W. Junk, Editeur, La Haye. 1951. 72 fl.

PHARMACIE

BROWN, A. W. A. *Insect Control by Chemicals*. Pp. 817, avec plusieurs illustrations en demi-teintes et des figures. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 100s.

C.N.R.S. *Mécanisme de la Narcose*. Pp. 215. Colloques internationaux du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 1951.

PHARMACOPOEA INTERNATIONALIS, Vol. I. Pp. xviii + 406. World Health Organization, Genève. 1951. 35s.

PHYSIQUE

BRITISH CAST IRON RESEARCH ASSOCIATION. *Typical Microstructures of Cast Iron* (Microstructures caractéristiques de la fonte). Pp. 54, avec 41 illustrations. Birmingham. 1951. 21s.

BUTLER, J. A. V., publié par. *Electrical Phenomena at Interfaces*. Pp. 309, avec plusieurs diagrammes linéaires. Methuen and Company Limited, Londres. 1951. 32s. 6d.

DAVY, J. R. *Industrial High Vacuum*. Pp. 243, avec plusieurs diagrammes linéaires. Sir Isaac Pitman and Sons Limited, Londres. 1951. 25s.

DE GROOT, S. R. *Thermodynamics of Irreversible Processes*. Pp. 242. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1951. 17,50 fl.

DUNSHEATH, P. *The Electric Current*. Pp. 211, avec de nombreuses illustrations en demi-teintes et des figures. G. Bell and Sons Limited, Londres. 1951. 18s. 6d.

FERMI, ENRICO. *Elementary Particles*. Pp. 110. Oxford University Press, Londres. 1951. 12s. 6d.

INSTITUTE OF PHYSICS. *Vacuum Physics*. Conférence tenue par la section des Midlands à Birmingham les 27 et 28 Juin 1950. Pp. 80, avec diverses illustrations en demi-teintes et des figures. The Institute of Physics, Londres. 1951. 15s.

GRAY, D. E. et MARTENS, J. H. *Radiation Monitoring in Atomic Defence*. Pp. 122, avec des illustrations en demi-teintes et des figures. Macmillan and Company Limited, Londres. 1951. 15s.

ROSENFELD, L. *Theory of Electrons*. Pp. 119. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1951. 17,50 fl.

SAWYER, R. A. *Experimental Spectroscopy* (Seconde édition). Pp. 358, avec des illustrations en demi-teintes et des figures. Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 30s.

SOMMER, A. *Photoelectric Tubes*. Pp. 118, avec plusieurs dessins linéaires. Methuen and Company Limited, Londres. 1951. 8s. 6d.

SCIENCE GÉNÉRALE

BRITISH COMMONWEALTH OF NATIONS SCIENTIFIC LIAISON OFFICES. *Inter-Commonwealth Post-graduate Scholarships in Science* (Bourses d'études scientifiques du Commonwealth). Pp. 82. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1951. 5s.

ELLIOTT, A. et DICKSON, J. HOME. *Laboratory Instruments; their Design and Application*. Pp. 414, avec divers diagrammes linéaires. Chapman and Hall Limited, Londres. 1951. 32s.

HOLMSTROM, J. E. *Bibliography of Scientific and Technical Dictionaries*. Pp. 227. UNESCO, Paris. 1951. 4s.

Corrigendum. Le nom de Miss E. R. Turlington a été imprimé par erreur E. T. Tarlington à la page 224 de notre numéro d'octobre 1951.

Notes biographiques sur les collaborateurs

W. J. ARROL

Né en 1915. Est diplômé de l'Université de Londres. S'occupe de l'aspect chimique de la radioactivité depuis 1935. De 1940 à 1943 il servit dans la R.N.V.R. et en 1943 alla à Montréal pour prendre part au projet canadien de production d'énergie atomique. En 1945 il revint en Angleterre et jusqu'en 1948 enseigna la chimie à l'Université de Londres. A cette date il entra à l'établissement de recherche atomique de Harwell où il est chimiste principal de la section nouvellement formée des isotopes.

ANDRÉ LWOFF

Est né en 1902 et a étudié aux facultés de médecine et de science de l'Université de Paris. Il est actuellement à la tête du département de physiologie des micro-organismes à l'Institut Pasteur. En 1933 il alla grâce à la Fondation Rockefeller étudier au *Kaiser-Wilhelm Institut*, à Heidelberg et à l'institut Molteno à Cambridge en 1936. Il occupa la chaire Dunham de l'Université d'Harvard en 1948.

Ses travaux portent sur le cycle d'évolution et la morphogenèse des ciliées, la nutrition des protozoaires, les facteurs de développement bactérien et leur rôle physiologique ainsi que les bactéries lysogènes. Ses livres comprennent *L'Evolution Biochimique* (Paris, 1944); *Problems of Morphogenesis in Ciliates* (New York, 1950) et *Biochemistry of Protozoa* (New York, 1951).

JOHN HANCOCK

Est diplômé de l'Université d'Helsingfors depuis 1935. Il a travaillé dans l'agriculture, tant au point de vue pratique, administratif que scientifique, en Finlande, en Australie, en Nouvelle-Zélande et en Océanie. Il est actuellement premier génésiologue à la station de recherches zootechniques de Ruakura, Nouvelle-Zélande.

E. BOYLAND

Est professeur de chimie biologique au *Royal Cancer Hospital* de l'Université de Londres où il travaille depuis 1931. En plus de ses recherches sur la carcinogenèse et le métabolisme des hydrocarbures, il a étudié avec ses collaborateurs la chimiothérapie du cancer et la nature du métabolisme carbohydraté des tumeurs. Avant d'entreprendre ses travaux sur le cancer, il étudia la biochimie musculaire au laboratoire physiologique de l'Université de Manchester et au *Kaiser-Wilhelm Institut* à Heidelberg. Au *Lister Institute* de Médecine préventive à Londres il s'occupa de la biochimie de la levure. En 1948 le prix Judd de recherches sur le cancer lui fut accordé à New York.

L. R. G. TRELOAR

Est né en 1906 et a étudié la physique à l'Université de Reading. De 1929 à 1938 il fit des travaux sur les lampes de radio aux laboratoires de recherches de la *General Electric Company*. A cette date il entra à l'Association de recherches des producteurs de caoutchouc britanniques nouvellement formée, travaillant au laboratoire scientifique des colloïdes à Cambridge et aux laboratoires de l'Association à Welwyn Garden City. Il a publié de nombreux articles expérimentaux et théoriques sur la physique du caoutchouc et est l'auteur de *The Physics of Rubber Elasticity* (Clarendon Press, 1949).

Depuis 1949 il est physicien en chef de la *British Rayon Research Association* et a travaillé au laboratoire Davy Faraday de la *Royal Institution* sur les propriétés physiques des fibres textiles.

C. W. WARDLAW

Né en 1901, étudia la botanique à l'Université de Glasgow et y enseigna (1918–28). Il alla ensuite au Collège Impérial d'Agriculture Tropicale, à Trinité, Antilles britanniques. Depuis 1940 est professeur de botanique cryptogamique à l'Université de Manchester. Ses recherches personnelles portent depuis dix ans sur la morphogenèse chez les végétaux surtout par l'emploi de méthodes expérimentales.

SIRO TAVIANI

Né à Vinci en 1889, étudia la médecine à l'Université de Florence. Il fut chef de la clinique de médecine dentaire à l'Université de Pérouse de 1930 à 1942 et fait partie de nombreuses académies et sociétés savantes d'Italie et de l'étranger. Il a publié plus de cent articles (pour la plupart originaux) sur diverses questions stomatologiques, de morphologie dentaire en particulier, et émis une hypothèse nouvelle sur l'origine morphologique de la dentition de l'homme et des mammifères en général. Il a fait aussi beaucoup de recherches historiques sur Léonard de Vinci. Il est actuellement directeur du laboratoire d'études biologiques à la *Scuola Perfezionamento, Clinica Odontoiatrica* de l'Université de Rome.